

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Estudo do Impacto e Articulação de Planos de Mitigação e de
Medidas de Eficiência Energética em Edifícios de Habitação.
Análise de Capitais Europeias**

Filipa Andreia Agostinho Vidal

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Dissertação orientada por:
Doutor Engenheiro Fernando Marques Silva
Doutor Engenheiro Armando Pinto

2016

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer ao Engenheiro Armando Pinto e ao Professor Fernando Marques Silva por toda a orientação, dedicação, disponibilidade e apoio dado no decorrer desta dissertação. Foram muitos os seus conselhos e críticas sem os quais esta tese não teria sido concretizada.

A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para esta dissertação, pela amizade, apoio e incentivo que foram fundamentais no decorrer desta longa caminhada.

Aos meus primos, Roselyne, Regis e Raphael pela força, motivação e carinho que depositaram em mim, imprescindíveis na elaboração desta dissertação.

Ao meu fiel amigo de quatro patas pela sua companhia, amor e afeto demonstrados que guardarei para sempre no coração.

Ao meu querido avô e avó, apesar de não terem acompanhado o princípio e fim desta minha jornada, sempre estiveram presentes e sempre me serviram de inspiração e incentivo para atingir os meus objetivos e ultrapassar obstáculos pelos quais enfrentei e enfrentarei ao longo da vida.

Ao Tiago, sempre presente em todos os momentos, pelas suas palavras de apoio, força e incentivo. Obrigada por todo o carinho demonstrado, companheirismo e paciência, principalmente nas horas mais difíceis.

Finalmente, mas não menos importante, expresso a minha gratidão aos meus pais por terem sempre acreditado em mim, pelo seu apoio, compreensão e pelas oportunidades que me proporcionaram em toda a minha vida. A eles devo o que sou hoje.

A todos, família e amigos renovo os meus profundos agradecimentos.

Resumo

As estratégias de mitigação relativas às alterações climáticas levam à necessidade de uma intervenção local para reduzir as emissões antropogénicas dos gases de efeito de estufa, principalmente o CO₂, e para um uso mais eficiente de energia. Na presente dissertação, pretende-se avaliar a compatibilidade das estratégias locais, nomeadamente com o uso eficiente de energia em edifícios de habitação.

Esta dissertação compreende duas partes. A primeira parte consiste na identificação dos pontos a incluir num plano de mitigação local e na análise de planos de mitigação, com base no caso de estudo de três autarquias europeias. Nesta parte, serão também sugeridas algumas medidas políticas e tecnológicas direcionadas aos setores de produção de energia, edifícios e transportes, sendo testada a conformidade dos planos em estudo de acordo com um plano de referência elaborado pelo Pacto de Autarcas, identificando as falhas neles encontradas e as medidas de mitigação aplicadas aos setores da energia, edifícios, transportes e oportunidades de melhoria.

A segunda parte consiste no aprofundamento da análise do impacto das medidas aplicáveis ao setor residencial, onde será efetuada a análise dos consumos de energia de três habitações novas europeias, segundo a metodologia de base sazonal da norma EN ISO 13790:2008. Posteriormente, será avaliada a adaptação dessas habitações em estudo, tendo em conta diferentes parâmetros climáticos e as reduções das necessidades de energia primária nas moradias com a aplicação das medidas definidas nos planos de mitigação.

Desta forma, torna-se possível concluir:

- i) Quais os princípios orientadores para a elaboração de um plano de mitigação local;
- ii) Quais os planos melhor estruturados de acordo com o plano base do Pacto de Autarcas;
- iii) As medidas de mitigação aplicáveis às habitações dos planos de mitigação locais são mais ambiciosas do que as soluções de referência regulamentares;
- iv) Quais as habitações mais e menos eficientes;
- v) Quais as reduções obtidas com a aplicação das medidas de mitigação no setor residencial;
- vi) Quais as habitações que melhor se adaptam a climas mais e menos severos;
- vii) Quais as medidas mais relevantes para reduzir os consumos de energia num edifício.

Palavras-Chave: Plano de mitigação, medidas de mitigação, EN ISO 13790:2008, eficiência energética.

Abstract

Climate change mitigation strategies lead to the need for local intervention to reduce anthropogenic greenhouse gases emissions, especially CO₂, and for more efficient use of energy. In this dissertation, it is intended to evaluate the compatibility of local strategies, namely with the efficient use of energy in residential buildings.

This dissertation comprises two parts. The first part consists on the identification of the points to be included in a local mitigation plan and the analysis of local mitigation plans, based on the case study of three European local authorities. In this part, some political and technological measures directed to the sectors of energy production, buildings and transport will also be suggested, and the conformity of the plans under study will be tested according to a reference plan elaborated by the Covenant of Mayors, identifying the faults found in them and mitigation measures applied to the energy, building, transport sectors as well as improvement opportunities.

The second part of this work consists on deepening these measures applicable to the residential sector, where the energy consumption of three new European dwellings will be analysed according to the seasonally based methodology of the standard EN ISO 13790: 2008. Then, the adaptation of the dwellings under study will be evaluated, taking into account different climatic parameters and the reductions of the primary energy needs in the dwellings with the application of the measures defined in the mitigation plans will be also analyzed.

It becomes then possible to conclude:

- i) What are the guiding principles for the elaboration of a local mitigation plan;
- ii) Which local mitigation plans are better structured according to the base plan of the Covenant of Mayors;
- iii) The mitigation measures of local mitigation plans applicable to the dwellings are more ambitious than the regulatory reference solutions;
- iv) Which houses are the most and least efficient;
- v) What are the reductions obtained with the application of mitigation measures in the residential sector;
- vi) Which houses best adapt to more and less severe climates;
- vii) What are the most relevant mitigation measures to reduce the consumption of energy in a building.

Keywords: Mitigation plan, mitigation measures, EN ISO 13790: 2008, energy efficiency.

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo | iv |
| Abstract | v |
| Índice de Figuras | viii |
| Índice de Tabelas | ix |
| Acrónimos | xi |
| Simbologia e Notações..... | xii |
| Capítulo 1 - Introdução..... | 1 |
| 1.1. Alterações climáticas | 1 |
| 1.2. Consequências das alterações climáticas | 3 |
| 1.3. Medidas de mitigação e de adaptação..... | 4 |
| 1.4. Resposta Europeia | 5 |
| 1.5. Resposta Portuguesa | 5 |
| 1.6. Pacto de Autarcas | 7 |
| 1.7. Objetivos | 7 |
| 1.8. Estrutura da dissertação | 7 |
| Capítulo 2 - Planos de Mitigação..... | 9 |
| 2.1. Definição de plano de mitigação | 9 |
| 2.1.1. Medidas sugeridas pelo Pacto de Autarcas | 12 |
| 2.2. Casos de estudo | 13 |
| 2.2.1. Parâmetros gerais das cidades | 14 |
| 2.2.2. Visão futura dos planos | 15 |
| 2.2.3. Objetivos e metas para cada setor | 15 |
| 2.2.4. Inventário de Referência de Emissões | 18 |
| 2.2.5. Identificação de medidas de mitigação | 20 |
| 2.2.6. Implementação de medidas | 29 |
| 2.2.7. Seguimento..... | 30 |
| 2.3. Análise dos planos | 30 |
| Capítulo 3 - Estudo do setor residencial..... | 35 |
| 3.1. Metodologia utilizada | 35 |
| 3.1.1. Necessidades Nominais de Energia Primária | 35 |
| 3.1.2. Necessidades anuais de energia útil para aquecimento | 37 |
| 3.1.3. Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento | 44 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| 3.1.4. | Necessidades de energia útil para preparação de AQS | 48 |
| 3.1.5. | Ventilação Mecânica..... | 49 |
| 3.1.6. | Contribuições de sistemas de energia renovável | 49 |
| 3.2. | Casos de estudo | 50 |
| 3.2.1. | Geometria das habitações..... | 50 |
| 3.2.2. | Parâmetros térmicos..... | 51 |
| 3.2.3. | Sistemas adotados | 53 |
| 3.2.4. | Dados climáticos..... | 55 |
| 3.3. | Análise de resultados | 57 |
| 3.3.1. | Coeficiente de transferência de calor | 57 |
| 3.3.2. | Área efetiva coletora | 58 |
| 3.3.3. | Ganhos térmicos | 58 |
| 3.3.4. | Perdas térmicas | 59 |
| 3.3.5. | Balanço térmico..... | 60 |
| 3.3.6. | Necessidades de energia obtidas..... | 62 |
| 3.3.7. | Valores obtidos e valores de referência..... | 63 |
| 3.4. | Aplicação das medidas previstas dos planos de mitigação | 65 |
| 3.5. | Aplicação de parâmetros climáticos diferentes | 67 |
| 3.5.1. | Moradia de Estocolmo | 67 |
| 3.5.2. | Moradia de Lisboa | 68 |
| 3.5.3. | Moradia de Londres | 69 |
| 3.5.4. | Análise comparativa..... | 69 |
| Capítulo 4 - | Conclusão | 72 |
| Referências | | 74 |
| Anexo A - | Parâmetros térmicos..... | 77 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 - Concentração global de CO ₂ na atmosfera, entre 1750 e 2010. Fonte: [6]. | 1 |
| Figura 1.2 – Degelo do glaciário <i>McCarty</i> no Alasca, entre 1909 e 2004. Fonte: [12]. | 3 |
| Figura 1.3 – Perspetiva global dos países face às alterações climáticas em 2014, segundo o índice ND-GAIN. Fonte: [17]. | 4 |
| Figura 2.1 - Etapas a seguir na elaboração de um plano de mitigação. Fonte: [24]. | 9 |
| Figura 2.2 - Estrutura do Inventário de Referência de Emissões. | 10 |
| Figura 3.1 - Coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação por área útil de pavimento das três moradias na estação de aquecimento. | 57 |
| Figura 3.2 - Ganhos solares e internos por área útil de pavimento das três habitações no inverno. | 59 |
| Figura 3.3 - Perdas térmicas por transmissão e ventilação por área útil de pavimento das três moradias no inverno. | 60 |
| Figura 3.4 - Ganhos e perdas térmicas totais por área útil de pavimento das três habitações no inverno. | 61 |
| Figura 3.5 - Ganhos e perdas térmicas por área útil de pavimento na moradia de Lisboa no inverno e verão. | 62 |
| Figura 3.6 – Resultados obtidos das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, energia elétrica para os ventiladores e necessidades de energia primária das três moradias. | 62 |
| Figura 3.7 - Valores obtidos e de referência das necessidades de energia da moradia de Estocolmo. | 64 |
| Figura 3.8 - Valores obtidos e de referência das necessidades de energia da moradia de Londres. | 65 |
| Figura 3.9 – Redução das necessidades de energia primária obtidas com a aplicação das medidas técnicas previstas nos planos de mitigação. | 66 |
| Figura 3.10 - Casos de estudo na aplicação de variáveis climáticas diferentes. | 67 |
| Figura 3.11 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Estocolmo com a aplicação dos climas de Lisboa e Londres. | 68 |
| Figura 3.12 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Lisboa com a aplicação dos climas de Estocolmo e Londres. | 68 |
| Figura 3.13 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Londres a partir dos climas de Estocolmo e Lisboa. | 69 |
| Figura 3.14 – Valores referentes ao N_{tc} com a aplicação dos três climas nas moradias em estudo com a moradia de Lisboa sem AQS. | 70 |
| Figura 3.15 - Valores referentes ao N_{tc} com a aplicação dos três climas nas moradias em estudo com a moradia de Lisboa com AQS. | 71 |
| Figura A.1 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013). | 77 |
| Figura A.2 – Valores relativos ao fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar g_{Tvc} (Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013). | 78 |
| Figura A.3 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis b_{tr} (Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013). | 78 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1 - Lista dos países da União Europeia que mais emitem CO ₂ em 2014. Fonte: [9]. | 2 |
| Tabela 2.1 - Características dos objetivos SMART. | 10 |
| Tabela 2.2 - Parâmetros demográficos, geográficos e climáticos referentes aos municípios de Estocolmo Lisboa e Londres. Fontes: [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34]. | 14 |
| Tabela 2.3 - Objetivos estabelecidos pelos planos em estudo para os setores da energia, edifícios e transportes. | 15 |
| Tabela 2.4 - Dados referentes ao ano de referência, fator e unidade de emissão adotados pelos planos em estudo. | 19 |
| Tabela 2.5 - Medidas definidas pelo plano de Estocolmo para o setor da energia. | 21 |
| Tabela 2.6 - Medidas definidas pelo plano de Londres para o setor da energia. | 22 |
| Tabela 2.7 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo Plano de Estocolmo para o setor dos edifícios. | 23 |
| Tabela 2.8 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo plano de Lisboa para o setor dos edifícios. | 24 |
| Tabela 2.9 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo plano de Londres para o setor dos edifícios. | 25 |
| Tabela 2.10 - Medidas definidas pelo plano de Estocolmo para o setor dos transportes. | 26 |
| Tabela 2.11 - Medidas definidas pelo plano de Lisboa para o setor dos transportes. | 27 |
| Tabela 2.12 - Medidas definidas pelo plano de Londres para o setor dos transportes. | 28 |
| Tabela 2.13 - Orçamentos que cada plano dispõe para o cumprimento das respetivas metas globais. | 29 |
| Tabela 2.14 - Síntese das principais medidas de mitigação definidas pelos planos para os setores da energia, edifícios e transportes. | 32 |
| Tabela 3.1 - Valores das resistências térmicas superficiais, R_{se} e R_{si} , em (m ² °C)/W. Adaptado da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-K/2013. | 39 |
| Tabela 3.2 - Valores do fator de orientação X_j do vão envidraçado para cada orientação j. Adaptado da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-I/2013. | 42 |
| Tabela 3.3 - Fração envidraçada F_g . Adaptado da Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013. | 42 |
| Tabela 3.4 - Classe e inércia em função do valor padrão da capacitância térmica C_m . Adaptado da Tabela 12 da Norma EN ISO 13790:2008, 2008). | 44 |
| Tabela 3.5 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} . Adaptado da Tabela 14 do Despacho n.º 15793-K/2013. | 47 |
| Tabela 3.6 - Fator de correção da seletividade angular para vidros planos duplos dos envidraçados na estação de arrefecimento $F_{w,v}$. Adaptado da Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013. | 47 |
| Tabela 3.7 - Coeficiente de absorção da radiação solar α . Adaptado da Tabela 08 do Despacho n.º 15793-K/2013. | 48 |
| Tabela 3.8 - Dados relativos à geometria das habitações em estudo. | 50 |
| Tabela 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica U , expressos em W/(m ² °C), referentes aos vários elementos das três habitações. | 51 |
| Tabela 3.10 - Fatores solares dos vidros $g_{L,vi}$ aplicados nos vãos envidraçados das habitações em estudo. | 53 |
| Tabela 3.11 - Dados referentes aos sistemas adotados para aquecimento nas três habitações em estudo. | 54 |
| Tabela 3.12 - Dados relativos ao sistema para arrefecimento adotado na moradia de Lisboa. | 54 |
| Tabela 3.13 - Dados referentes aos sistemas adotados para produção de AQS nas moradias de Estocolmo e Londres. | 54 |
| Tabela 3.14 - Dados relativos aos sistemas de ventilação adotados nas três habitações. | 55 |

| | |
|--|----|
| Tabela 3.15 - Parâmetros climáticos pertinentes para a estação de aquecimento das três cidades em estudo [33] [43]. | 56 |
| Tabela 3.16 - Energia solar acumulada I_{sol} durante a estação de arrefecimento na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais na cidade de Lisboa. | 56 |
| Tabela 3.17 - Coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação na estação de aquecimento das três moradias em estudo. | 57 |
| Tabela 3.18 - Área efetiva coletora das três moradias na estação de aquecimento..... | 58 |
| Tabela 3.19 - Valores de referência das necessidades de energia das três habitações em estudo..... | 63 |
| Tabela 3.20 – Dados relativos à contribuição de painéis solares térmicos nas três habitações em estudo. Fonte: [43]. | 66 |

Acrónimos

| | |
|------------------|---|
| ACV | Análise do Ciclo de Vida |
| AQS | Águas quentes sanitárias |
| AVAC | Aquecimento, ventilação e ar condicionado |
| CELE | Comércio Europeu de Licenças de Emissão |
| CFCs | Clorofluorcarbonetos |
| CHP | <i>Combined Heat and Power</i> |
| ECO | Estudo dos Custos Ótimos |
| ED | Energia Descentralizada |
| EEA | Espaço Económico Europeu |
| ENAAAC-RH | Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas - Recursos Hídricos |
| GEE | Gases de Efeito de Estufa |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| IRE | Inventário de Referência de Emissões |
| PFCs | Perfluorcarbonetos |
| PM | Plano de Mitigação |
| PNAC | Programa Nacional para as Alterações Climáticas |
| PNAEE | Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética |
| PNAER | Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis |
| PNALE II | Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão |
| QEPiC | Quadro Estratégico para a Política Climática |
| REH | Regulamento de Desempenho energético dos edifícios de habitação |
| RNBC | Roteiro Nacional de Baixo Carbono |
| SIAM | <i>Scenarios, Impacts and Adaptation Measures</i> |
| SMART | <i>Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-bound</i> |
| SRC | Sistemas de Recuperação de calor |
| UE | União Europeia |

Simbologia e Notações

| | |
|------------------|---|
| α | Coefficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca |
| γ | Quociente entre os ganhos térmicos brutos e as perdas térmicas |
| ΔP | Diferença de pressão total do ventilador, [Pa] |
| ΔT | Aumento de temperatura necessário à preparação das AQS, [°C] |
| δ | Parâmetro que toma o valor de 1, com exceção no uso de arrefecimento (N_{vc}) que pode tomar o valor 0 quando o fator de ganhos térmicos for superior ao respetivo fator de referência, representando condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado |
| η | Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação em estudo |
| η_k | Eficiência do sistema k, igual a 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, exceto sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser utilizada a eficiência do sistema de queima |
| η_{tot} | Rendimento total do funcionamento do ventilador; |
| $\theta_{v,ext}$ | Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C] |
| $\theta_{v,ref}$ | Temperatura de referência destinada para o cálculo das necessidades de verão, [°C] |
| τ | Constante de tempo, [h] |
| Ψ_j | Coefficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j, [W/(m ² . °C)] |
| a | Parâmetro da classe de inércia térmica da fração ou edifício |
| A_c | Área total de captação dos coletores, [m ²] |
| $A_{elem\ ext}$ | Área total dos elementos externos da moradia, [m ²] |
| A_i | Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, [m ²] |
| A_{op} | Área do elemento da envolvente opaca exterior, [m ²] |
| A_p | Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m ²] |
| A_s | Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j na estação em estudo, [m ²] |
| A_w | Área total do vão envidraçado, incluindo o caixilho e o vidro, [m ²] |
| B_j | Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior do edifício, [m] |
| b_{tr} | Coefficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente |
| $E_{ren,p}$ | Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, [kWh/ano], incluindo apenas energia consumida |
| $E_{solar\ ref}$ | Valor de referência da contribuição anual de sistemas de coletores solares para a preparação de AQS, [kWh] |
| $f_{a,k}$ | Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k |
| f_{ch} | Fator de eficiência hídrica |
| F_f | Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, incluindo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício |
| F_g | Fração envidraçada do vão envidraçado de acordo com três tipos de caixilharia |
| F_h | Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros |

| | |
|---------------|--|
| | elementos do edifício |
| $f_{i,k}$ | Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k |
| F_{mv} | Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados |
| F_o | Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, incluindo palas e varandas |
| F_{pu} | Fator de conversão de energia útil para energia primária, [kWh _{EP} /kWh] |
| F_s | Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação em estudo |
| $f_{v,k}$ | Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k |
| F_w | Fator de seletividade angular |
| f_1 | Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo |
| f_2 | Fator de redução relativo ao sombreamento |
| f_3 | Fator de redução referente à idade do equipamento |
| $g_{L,vi}$ | Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro |
| GD | Número de graus-dias de aquecimento a uma temperatura base de um dado local, [°C.dia] |
| G_h | Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal, [kWh/m²] |
| g_i | Fator solar de inverno |
| G_{sul} | Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul na estação de aquecimento, [kWh/(m².mês)] |
| g_T | Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados |
| g_{TP} | Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes |
| g_{Tvc} | Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel totalmente ativado |
| g_v | Fator solar do vão envidraçado no verão |
| H_{adj} | Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [W/°C] |
| H_{ecs} | Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, [W/°C] |
| H_{enu} | Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [W/°C] |
| H_{ext} | Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C] |
| $H_{ext PTL}$ | Coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior associado às perdas térmicas lineares, [W/°C] |
| H_f | Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano (h) |
| H_t | Coeficiente global de transferência de calor num edifício, [W/°C] |
| H_{tr} | Coeficiente de transferência de calor por transmissão na estação em estudo, [W/°C] |
| H_{ve} | Coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação em estudo, [W/°C] |
| $I_{sol,j}$ | Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante a estação de arrefecimento, [kWh/m²] |
| L_v | Duração da estação de arrefecimento, [h] |
| M | Duração média da estação convencional de aquecimento, [meses] |

| | |
|--------------------------|---|
| M_{AQS} | Consumo médio diário de referência, [l] |
| n | Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma |
| n_d | Número anual de dias de consumo de AQ S de edifícios residenciais |
| N_{ac} | Necessidades de energia útil para produção de AQ S, [kWh/(m ² ano)] |
| N_{ic} | Necessidades de energia útil para aquecimento, [kWh/(m ² ano)] |
| N_{tc} | Necessidades de energia primária, [kWh _{EP} /(m ² ano)] |
| N_{ve} | Necessidades de energia útil para arrefecimento, [kWh/(m ² ano)] |
| P_d | Pé direito médio da fração, [m] |
| P_j | Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j, medido pelo interior, [m] |
| Q_a | Energia necessária para a preparação das de AQ S, [kWh/ano] |
| Q_g | Ganhos térmicos brutos na estação em estudo, [kWh] |
| Q_{gu,i} | Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, [kWh] |
| q_{int} | Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, [W/m ²] |
| Q_{int} | Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor na estação em estudo, [kWh] |
| Q_{sol,i} | Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento, [kWh] |
| Q_{sol,v} | Ganhos térmicos solares na envolvente exterior opaca e envidraçada na estação de arrefecimento, [kWh] |
| Q_{tr} | Perdas de calor por transmissão na estação em estudo através da envolvente dos edifícios, [kWh] |
| Q_{ve} | Perdas de calor por ventilação, na estação em estudo, [kWh] |
| R_{ph} | Taxa nominal de renovação do ar interior, [h ⁻¹] |
| R_{se} | Resistência térmica superficial exterior, [W/m ² °C] |
| R_{si} | Resistência térmica interior, [(m ² °C)/W] |
| R_j | Resistência térmica da camada j, [(m ² °C)/W] |
| U_{bfi} | Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i, [W/(m ² .°C)] |
| U_{bw,j} | Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j, [W/(m ² .°C)] |
| U_i | Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, [W/(m ² .°C)] |
| V_f | Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador, [m ³ /h] |
| W_{vm} | Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ano] |
| X_j | Fator de orientação para as diferentes orientações da fachada do edifício |
| y | Fator que estima as perdas nos edifícios novos, [W/(m ² .°C)] |
| z_j | Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j, [m] |

Capítulo 1 - Introdução

1.1. Alterações climáticas

As alterações climáticas são das ameaças mais assustadoras e preocupantes que o planeta e os seus habitantes enfrentam no século XXI [1].

As alterações climáticas definem-se como uma mudança no estado do clima que pode ser identificada por mudanças no meio ou na variabilidade das suas propriedades e que se mantém por longos períodos de tempo [2].

O clima da Terra é afetado pela emissão de gases de efeito de estufa (GEE) que têm vindo a aumentar devido à atividade humana. Os principais GEE são o vapor de água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), os clorofluorcarbonetos (CFCs), os perfluorcarbonetos (PFCs), o hexafluoreto de enxofre (SF_6) e o ozono (O_3) [3].

Das causas do aumento das emissões dos gases de efeitos de estufa, destacam-se as seguintes [4]:

- Queima de combustíveis fósseis, que libertam CO_2 e N_2O ;
- Desflorestação, libertando para a atmosfera o carbono armazenado nas árvores;
- Agricultura, libertando grandes quantidades de CH_4 ;
- Fertilizantes, que possuem ozono, libertando N_2O ;
- Gases industriais fluorados, que possuem um efeito de aquecimento bastante forte, chegando a ser 23 000 vezes maior ao do CO_2 .

Conforme a Figura 1.1, a concentração de CO_2 na atmosfera tem vindo a aumentar devido, principalmente, à queima de combustíveis fósseis para produção de energia [5] [6].

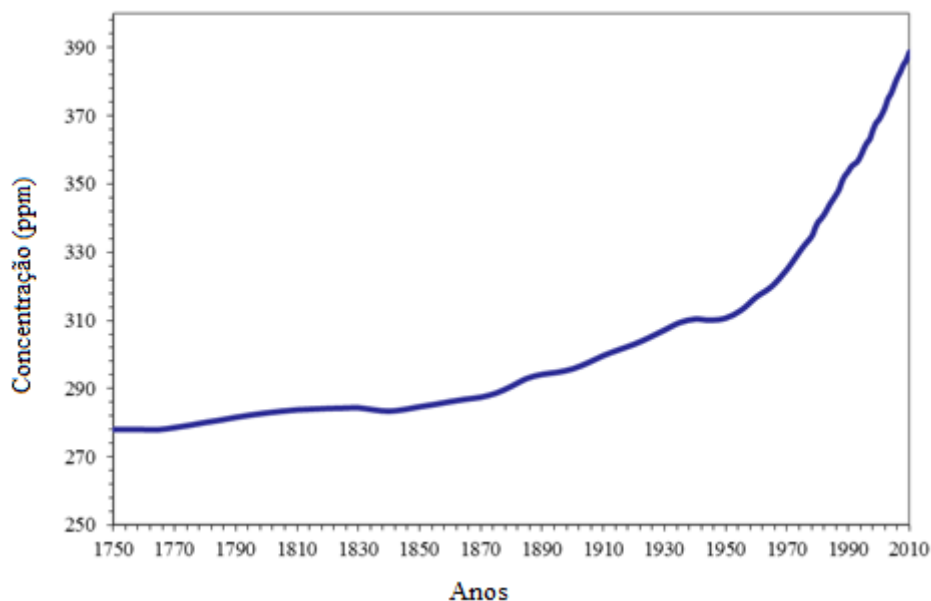


Figura 1.1 - Concentração global de CO_2 na atmosfera, entre 1750 e 2010. Fonte: [6].

Segundo a Agência Internacional de Energia, as emissões de CO₂ para a atmosfera a partir do setor energético mundial estagnaram pela primeira vez em 40 anos, no ano de 2014, permanecendo inalteradas 32 mil milhões de toneladas de CO₂ referentes ao ano de 2013. Contudo, é necessário que continue a haver esforços para combater o aumento de CO₂ na atmosfera de forma a limitar a subida da temperatura a 2°C [7] [8].

A Tabela 1.1 apresenta as emissões de CO₂ em cada um dos países da União Europeia (UE) no ano de 2014. É possível verificar que a Alemanha, o Reino Unido e a França são os países que emitiram mais CO₂, sendo que Malta, Chipre e a Letónia são os países com menor valor de CO₂ emitido. Salienta-se ainda que Portugal encontra-se na 13^a posição, contando com cerca de 48 Mt CO₂ emitidas, o que leva a concluir que não é dos países que mais emite na UE.

Tabela 1.1 - Lista dos países da União Europeia que mais emitem CO₂ em 2014. Fonte: [9].

| Posição | País | Emissões de CO ₂ (Mt) |
|---------|-----------------|----------------------------------|
| 1 | Alemanha | 789 |
| 2 | Reino Unido | 428 |
| 3 | França | 331 |
| 4 | Itália | 327 |
| 5 | Polónia | 310 |
| 6 | Espanha | 241 |
| 7 | Holanda | 154 |
| 8 | República Checa | 105 |
| 9 | Bélgica | 100 |
| 10 | Grécia | 76 |
| 11 | Roménia | 73 |
| 12 | Áustria | 63 |
| 13 | Portugal | 48 |
| 14 | Finlândia | 47 |
| 15 | Bulgária | 46 |
| 16 | Hungria | 41 |
| 17 | Suíça | 41 |
| 18 | Dinamarca | 38 |
| 19 | Irlanda | 36 |
| 20 | Eslováquia | 32 |
| 21 | Croácia | 19 |
| 22 | Estónia | 16 |
| 23 | Eslovénia | 15 |
| 24 | Lituânia | 12 |
| 25 | Luxemburgo | 11 |
| 26 | Letónia | 7,1 |
| 27 | Chipre | 7,1 |
| 28 | Malta | 2,8 |

1.2. Consequências das alterações climáticas

O aumento das concentrações de GEE na atmosfera origina sérias consequências para o planeta e para a saúde humana. Essas consequências incluem [10]:

- Aumento da frequência das ondas de calor;
- Aumento do nível médio da água do mar;
- Tempestades severas associadas a inundações (principalmente em cidades com regiões de baixa altitude);
- Secas;
- Incêndios florestais;
- Aumento da concentração de ozono.

Por sua vez, estas consequências irão provocar mortes prematuras, doenças respiratórias e a migração da população para outros locais [11].

A Figura 1.2 apresenta o degelo do glaciário *McCarty*, como consequência do aumento da temperatura no planeta.

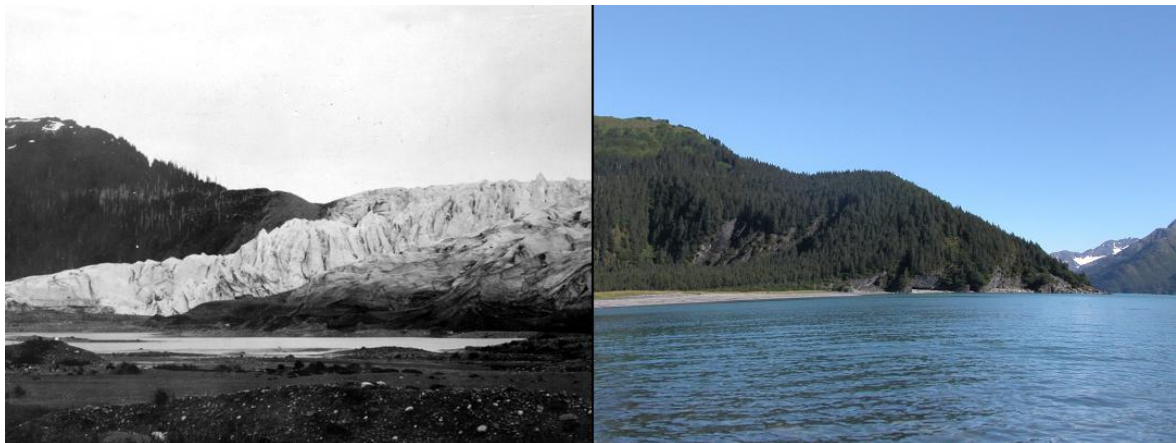


Figura 1.2 – Degelo do glaciário *McCarty* no Alasca, entre 1909 e 2004. Fonte: [12].

Impactos na Europa

O sul da Europa poderá contar com uma diminuição da precipitação anual e com períodos de seca mais frequentes, afetando a agricultura e o potencial hídrico. Haverá ainda uma diminuição do escoamento dos rios, afetando assim a qualidade da água e os recursos hídricos. As ondas de calor tornar-se-ão mais frequentes, agravando a saúde humana e o número de incêndios florestais [13].

No norte da Europa, haverá um aumento da pluviosidade anual, aumentando o risco de inundações. Com o aumento da temperatura, os episódios severos de frio tornar-se-ão menos frequentes, provocando uma diminuição da mortalidade [13].

Relativamente à Europa central, haverá uma diminuição da pluviosidade no verão, gerando um aumento da frequência de incêndios florestais e riscos para a saúde humana [14].

O aumento dos custos causados pelos impactos das alterações climáticas na destruição de infraestruturas, bens materiais e no abalo da saúde humana, irão refletir-se na economia e na sociedade. Entre 1980 e 2011, gastaram-se mais de 90 biliões de euros com as inundações que se fizeram sentir na Europa. Os setores mais afetados são o da agricultura, silvicultura, energia e turismo [4].

1.3. Medidas de mitigação e de adaptação

Para combater o efeito das alterações climáticas, as cidades podem implementar medidas de mitigação, de adaptação ou uma mistura das duas.

As medidas de mitigação visam a redução das emissões dos GEE, em particular do CO₂. Estas podem e devem incluir a implementação de energias renováveis, o aumento da eficiência energética e devem ser aplicadas a nível local, nacional e internacional [15].

Por sua vez, as medidas de adaptação têm o intuito de lidar com os impactos climáticos e são aplicadas a nível local. Estas podem tomar a forma física, tal como: adaptações nas infraestruturas, construção de barreiras contra tempestades e inundações, plantação de árvores em ambientes urbanos, políticas e planeamento do uso do solo, entre outras. Existem ainda medidas de cariz social como a sensibilização da população através de programas educacionais [15] [16].

Assim sendo, é de concluir que as medidas de adaptação recaem mais sobre as cidades dos países em desenvolvimento e as medidas de mitigação, juntamente com as de adaptação, recaem sobre as cidades dos países mais desenvolvidos [11].

A Figura 1.3 apresenta os países mais e menos suscetíveis a enfrentar as alterações climáticas em 2014, segundo o índice ND-GAIN.

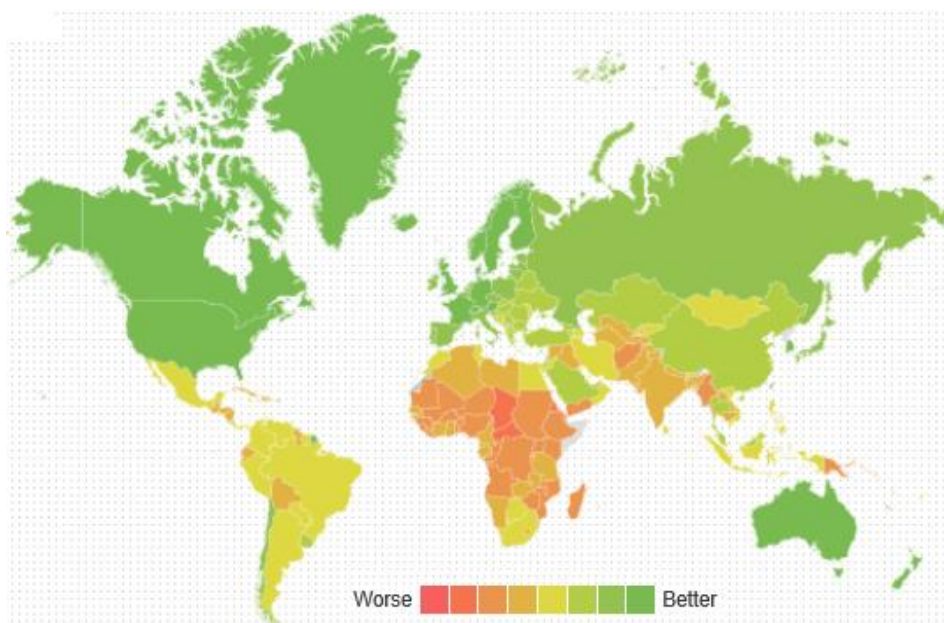


Figura 1.3 – Perspetiva global dos países face às alterações climáticas em 2014, segundo o índice ND-GAIN. Fonte: [17].

Através da figura anterior, destacam-se a Nova Zelândia, Noruega, Dinamarca, Reino Unido e Alemanha por serem os países que conseguirão ultrapassar mais facilmente as mudanças do clima. Por outro lado, a Eritreia, Chade, Republica Central Africana, Sudão e Republica Democrática do Congo são os menos preparados para enfrentar este fenómeno.

1.4. Resposta Europeia

Em 2008, o Parlamento Europeu aprovou o Pacote Energia-Clima que contém um conjunto de ações e medidas que visa o alcance das metas dos 20-20-20 até 2020 [18]:

- Redução de, no mínimo, 20% das emissões dos GEE relativas a 1990;
- Aumento de 20% na eficiência energética;
- Aumento da quota de energias renováveis no consumo de energia em 20%.

Esse conjunto de medidas e ações englobam [18]:

- Ratificação do Protocolo de Quioto, no qual os 15 estados-membros se comprometem a reduzir as emissões em 8%, entre 2008-2012, em relação a 1990;
- Aumento da eficiência energética em diversos equipamentos e eletrodomésticos;
- Aumento do uso de energias renováveis, nomeadamente a solar, eólica, hídrica e biomassa e combustíveis renováveis como os biocombustíveis no setor dos transportes;
- Apoio no desenvolvimento de tecnologias de armazenamento e captura de carbono;
- Implementação do Regime Europeu do Comércio de Licenças de Emissão.

A UE encontra-se a promover a integração de medidas de adaptação nas suas políticas referentes às alterações climáticas, tais como [18]:

- Reforço da resistência da UE face às alterações climáticas através de uma estratégia de adaptação global até 2013;
- Criação de um sistema de informação acerca das consequências das alterações climáticas, vulnerabilidade e adaptação às mesmas em 2012.

1.5. Resposta Portuguesa

Para além das metas estabelecidas pela União Europeia, existe o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) que estabelece as seguintes metas até 2020 [19]:

- Redução de 31% no consumo final bruto e 10% na energia utilizada nos transportes a partir de fontes de energia renovável;
- Redução de 25% no consumo de energia primária.

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) estabelece que até 2016 sejam reduzidas cerca de 1501 ktep (em energia final), isto é, aproximadamente 8,2% do consumo relativamente ao período entre 2001 e 2005. Este plano incorpora medidas de eficiência energética que abrangem seis áreas: transportes, residencial e serviços, indústria, Estado, comportamentos e agricultura [20].

Para além disso, existem também vários programas que visam o cumprimento das metas estabelecidas pelo Protocolo de Quioto, são elas [21]:

- Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), que estabelece um conjunto de medidas e ações distribuídas pelos vários sectores;
- Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão entre 2008-2012 (PNALE II), que refere os aspetos necessários e importantes a que ficam sujeitas as instalações do Comércio Europeu de Licenças de Emissão de gases de efeito de estufa;
- Fundo Português de Carbono, que é um apoio financeiro proporcionado pelo Estado para investir em projetos dentro e fora de Portugal para a redução das emissões de CO₂;
- A resposta política e institucional nesta matéria foi atualizada e desenvolvida, encontrando-se espelhada nas propostas relativas ao Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC) que inclui, nas vertentes de mitigação e adaptação em alterações climáticas, os principais instrumentos de política nacional, dos quais se destacam o Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030) e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC 2020). Na vertente de mitigação inclui também a implementação do Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE).

Para o período a partir de 2012, foram aprovados os seguintes instrumentos [21]:

- Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC), que visa o estudo da viabilidade técnica e económica das medidas que irão ser estabelecidas para reduzir as emissões dos GEE em Portugal até 2050;
- Programa Nacional para as Alterações Climáticas entre 2013-2020 (PNAC 2020), que define políticas e medidas com o objetivo de reduzir as emissões dos GEE para os diversos sectores não cobertos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão e ainda visa a previsão das responsabilidades dos sectores, os apoios financeiros e os mecanismos de monitorização e controlo.
- Planos Sectoriais de Baixo Carbono que são estabelecidos por cada ministério responsável por uma área de competência.

Relativamente à adaptação das alterações climáticas, existem vários projetos em Portugal, tais como [22]:

- Projeto SIAM - *Scenarios, Impacts and Adaptation Measures* – que se trata da primeira avaliação dos impactos e das medidas de adaptação às alterações climáticas em Portugal Continental e de um país situado no sul da Europa.
- Projeto ENAAAC-RH – “Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas – que apresenta as principais linhas de atuação de uma estratégia nacional de adaptação aos impactos das alterações climáticas referentes aos recursos hídricos;
- Projeto *Iberia Change- Forecasting impacts of climate change on Iberian biodiversity*, que tem como intuito a investigação dos impactos das alterações climáticas na biodiversidade nos próximos 100 anos;
- Projeto “Alterações Climáticas e Turismo - uma questão em aberto”, que efetua uma análise das políticas de adaptação na vulnerabilidade do setor do turismo;
- Projeto “Avaliação Nacional de Risco” que se refere aos riscos que cada cidadão está sujeito em cada área territorial de Portugal:

1.6. Pacto de Autarcas

Como consequência do Pacote Energia-Clima, a União Europeia criou o Pacto de Autarcas que engloba um conjunto de autarquias locais e regionais na Europa cujo objetivo é aumentar a eficiência energética e o uso de fontes de energia renovável nos seus respetivos territórios. Para tal, todos os seus signatários comprometem-se a reduzir as emissões de CO₂ em, pelo menos, 20% até 2020, sendo que os novos signatários comprometem-se a reduzir 40%, no mínimo, as emissões até 2030 [23].

Cada signatário deverá preparar um Inventário de Referência das Emissões e após a assinatura do Pacto de Autarcas, terá um ano para a apresentação do seu Plano de Mitigação que incluirá todas as medidas para cumprir os seus objetivos.

1.7. Objetivos

Nas sociedades modernas predominam os centros urbanos que são dos principais focos emissores de gases de efeito de estufa, originados pelo consumo de energia nos edifícios e transportes, pela destruição de zonas agrícolas que propiciam as alterações climáticas, entre outros. Deste modo, as cidades e as suas infraestruturas ficam expostas aos efeitos das alterações climáticas.

As cidades são, por esses fatores, cruciais na mitigação das alterações climáticas e carecem de estratégias de mitigação. Atualmente, existe um grande número de cidades com planos de mitigação e que aderiram ao Pacto de Autarcas. Da análise desses planos, ressalta uma heterogeneidade na abordagem da elaboração dos mesmos.

Nesta dissertação, pretende-se estabelecer os princípios orientadores para a elaboração de planos de mitigação, utilizando a estrutura base do Pacto de Autarcas. Posteriormente, será efetuada uma análise comparativa de três planos europeus a fim de avaliar a sua conformidade com a estrutura base, identificando as falhas neles encontradas e ressaltando algumas medidas de mitigação.

Como o setor residencial é importante no consumo de energia e nas emissões de CO₂, encontrando-se vulnerável às alterações climáticas, será realizada ainda uma análise mais detalhada deste setor para serem identificadas medidas adequadas e que tenham em conta as especificidades climáticas, validando parte das medidas identificadas nos planos analisados.

1.8. Estrutura da dissertação

Com o intuito de fazer cumprir os objetivos anteriormente mencionados, a presente tese é constituída por quatro capítulos.

No presente capítulo, é efetuada uma introdução e um enquadramento geral da dissertação, ressaltando os seus objetivos e estrutura da mesma.

No capítulo 2, será efetuada a definição de plano de mitigação segundo o Pacto de Autarcas, caracterizando as etapas a seguir para a sua elaboração e serão apresentadas algumas medidas sugeridas para alguns setores da atividade. De seguida, serão analisados três planos de mitigação

pertencentes a três autarquias europeias a fim de averiguar se estes se encontram em concordância com o plano de referência, identificando falhas neles encontradas e destacando algumas medidas de mitigação aplicadas aos setores da energia, edifícios e transportes.

No capítulo 3, serão estudados os consumos de energia de três habitações europeias. Para tal, será apresentada a metodologia utilizada segundo a norma EN ISO 13790:2008 e a descrição das três habitações em estudo, caracterizando as respetivas geometrias, parâmetros térmicos, sistemas de energia adotados e os dados climáticos utilizados. No fim, serão aplicadas as medidas de mitigação definidas nos planos nas três moradias e ainda diferentes variáveis climáticas em cada habitação. Deste modo, poderão ser identificados pontos de convergência entre as medidas de mitigação municipais e as incorporadas nas habitações e as estratégias mais importantes na redução do consumo de energia.

No capítulo 4, serão apresentadas as principais conclusões tecidas durante o desenvolvimento da presente dissertação, realçando o cumprimento dos objetivos ao qual a mesma se propôs e algumas especificações gerais.

Capítulo 2 - Planos de Mitigação

Neste capítulo, será abordada a definição de plano de mitigação, caracterizando o modelo recomendado pelo Pacto de Autarcas, bem como algumas medidas de mitigação ali sugeridas.

2.1. Definição de plano de mitigação

Um Plano de Mitigação (PM) é elaborado por uma autarquia com o intuito de reduzir as emissões dos gases de efeito de estufa, através de um processo iterativo de ação/avaliação.

O Pacto de Autarcas fornece uma estrutura recomendada que visa a elaboração de um plano de ação para as energias renováveis para todas as autarquias que pretendam implementar um plano. A Figura 2.1 apresenta as etapas necessárias que uma autarquia local terá que seguir para elaborar o seu plano de mitigação [24].

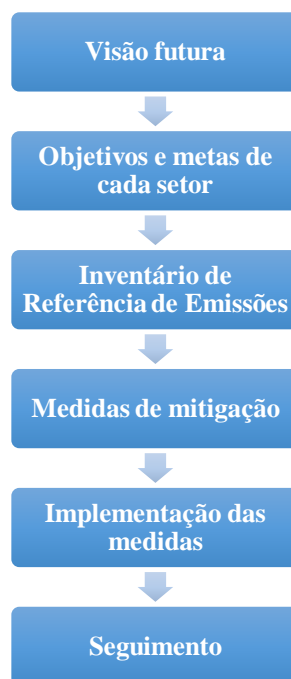


Figura 2.1 - Etapas a seguir na elaboração de um plano de mitigação. Fonte: [24].

Visão futura

A visão futura deverá conter o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ (sob a forma de valor absoluto ou em *per capita*) em, pelo menos, 20% até 2020 ou com horizontes temporais mais extensos, de acordo com o compromisso do Pacto de Autarcas.

Objetivos e metas para cada setor

Após definida a visão futura, é necessário estabelecer objetivos mais concretos para os diferentes setores. Esses objetivos deverão seguir o conceito SMART (*Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-Bound*), segundo a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Características dos objetivos SMART.

| Objetivos SMART | Descrição |
|--------------------|--|
| Específicos | Bem definidos, concretos |
| Mensuráveis | kWh, tempo, dinheiro, %, etc. |
| Alcançáveis | Possíveis |
| Realistas | Disponibilidade dos recursos necessários |
| Temporais | Prazos ou calendários definidos |

Inventário de Referência das Emissões

O Inventário de Referência de Emissões (IRE) apresenta as principais fontes de CO₂ de origem humana, num ano de referência, a partir do consumo de energia, mostrando a situação inicial de um município. A estrutura de um inventário encontra-se esquematizada na Figura 2.2.

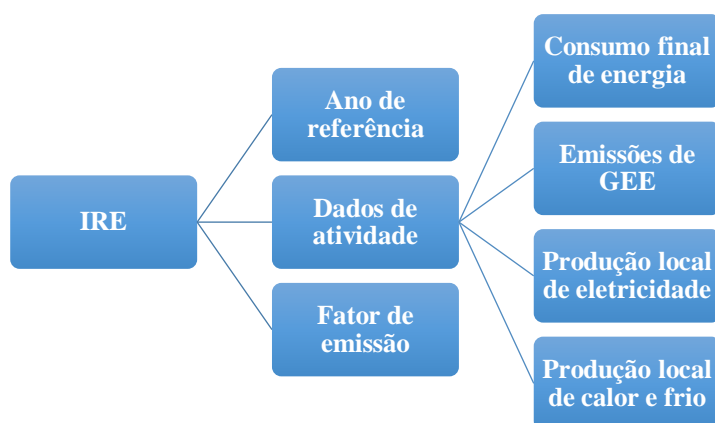


Figura 2.2 - Estrutura do Inventário de Referência de Emissões.

O IRE possui três conceitos-chave: o ano de referência, dados de atividade e fator de emissão.

O ano de referência das emissões deve ser 1990 mas, caso as autarquias não disponham de dados suficientes nesse ano, poderão optar por outro ano em que possuam dados suficientes para a elaboração do seu inventário.

Os dados da atividade quantificam a atividade humana dentro de um município e englobam o consumo final de energia, as emissões de GEE e a produção local de eletricidade, calor e frio.

O consumo final de energia e as emissões de GEE devem abranger dois setores principais:

- Setor dos edifícios, equipamentos/instalações e indústria: inclui os edifícios e equipamentos/instalações municipais e terciários, edifícios residenciais, iluminação pública municipal e indústria (caso esteja incluída no regime de comércio dos direitos de emissão da UE);
- Setor dos transportes: inclui os veículos municipais, transporte público e transporte privado e comercial.

As autoridades locais podem eleger os seguintes fatores de emissão:

- Fator IPCC: engloba todas as emissões de CO₂ produzidas a partir do consumo de energia, sejam elas diretas da combustão ou indiretas do uso de eletricidade ou do calor e frio dentro do território municipal. Este fator considera que as emissões de CO₂ a partir da biomassa/biocombustíveis e da eletricidade ecológica são nulas;
- Fator ACV (Análise do Ciclo de Vida): engloba todo o ciclo de vida da fonte de energia, incluindo as emissões das fases de exploração, transporte, processamento e combustão final. Este fator considera que as emissões a partir da biomassa/biocombustíveis e da eletricidade ecológica não são nulas e que outros gases de efeito de estufa, exceto o CO₂, podem ser contabilizados, ao contrário do fator IPCC que entende que o CO₂ é o gás mais importante e que as outras emissões de outros gases como o CH₄ e o N₂O não necessitam de ser calculadas.

Os gases de efeito de estufa que uma autarquia local pode incluir são: emissões de dióxido de carbono - CO₂ - ou equivalentes de dióxido de carbono - CO₂e. Caso se opte pelo fator IPCC, tal como foi referido acima, basta incluir as emissões de CO₂. Caso a autarquia pretenda incluir outros gases de efeito de estufa no inventário, pode fazê-lo utilizando as “emissões de CO₂ equivalente”. No caso do fator ACV, pode-se incluir outros gases de efeito de estufa para além do CO₂. Porém, caso a autoridade utilize uma metodologia que inclua somente o CO₂ terá que referir como “emissões de CO₂”.

Medidas de mitigação

As medidas de mitigação devem ser estabelecidas e atender ao seu impacto na redução das emissões, na sua viabilidade técnico-económica e nos aspetos climáticos e sociais. Na apresentação das medidas, cada plano deve incluir os seguintes tópicos:

- Descrição de cada medida;
- Calendário de execução (início-fim);
- Poupanças de energia;
- Reduções de CO₂ ou CO₂e.

O conjunto de medidas deve abranger os setores dos edifícios, dos transportes e/ou da energia. Poderão ser ainda opcionalmente estabelecidas medidas para o setor da indústria.

Implementação de medidas

A fase de implementação das medidas requer meios financeiros, tempo e a cooperação entre as diversas partes interessadas. Assim sendo, cada plano deve conter o orçamento previsto e os recursos financeiros para suportar as medidas.

Seguimento

Posteriormente, deve existir um acompanhamento da implementação das medidas e a avaliação dos resultados, através da elaboração de vários inventários posteriores (inventários de seguimento de emissões), tornando-se possível verificar se os objetivos impostos foram alcançados e proceder à sua evolução.

2.1.1. Medidas sugeridas pelo Pacto de Autarcas

O Pacto de Autarcas sugere ainda um conjunto de medidas políticas e tecnológicas para a eficiência energética e energias renováveis aplicado aos setores da energia, edifícios e transportes [24].

Para o setor dos edifícios, são sugeridas algumas medidas políticas, tais como:

- Normas de eficiência energética mais restritas do que as aplicáveis a nível nacional ou regional na construção de novos edifícios como a criação de regulamentos específicos para os componentes dos edifícios;
- Edifícios de demonstração (edifícios novos ou renovados), que provam que é possível a construção de edifícios eficientes ou fazer renovações de alta eficiência energética;
- Incentivos financeiros e empréstimos para a tomada de medidas de eficiência energética, instalação de tecnologias renováveis e compra de equipamentos que reduzam o consumo de energia nos edifícios;
- Informação sobre a importância de reduzir o consumo de energia e das emissões de CO₂.
- Formação de pessoas, nomeadamente arquitetos, trabalhadores e de empresas de construção sobre as melhores medidas de eficiência energética;
- Auditorias energéticas, que identificam as melhores medidas para reduzir o consumo de energia, especialmente nos edifícios existentes;
- Aumento da fatura energética, gerando o aumento da consciencialização e motivação para as poupanças de energia. Porém, as consequências sociais dessa medida deverão ser avaliadas e debatidas antes de ser tomada uma decisão desse tipo;
- Incentivar as pessoas a construir edifícios eficientes, oferecendo-lhes reconhecimento.

São também sugeridas medidas técnicas direcionadas para o setor da energia e edifícios que englobam, por exemplo:

- Conversão para lâmpadas mais eficientes (LED e fluorescentes compactas);
- Instalação de painéis solares térmicos para águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento de espaços;

- Substituição de caldeiras de combustíveis fósseis por caldeiras de biomassa ou de condensação com rendimentos superiores às caldeiras convencionais;
- Conversão para bombas de calor ou bombas de calor geotérmicas;
- Geração de eletricidade fotovoltaica a partir de módulos que convertem a radiação solar em eletricidade;
- Instalação de dispositivos de recuperação de calor (SRC) em sistemas AVAC;
- Implementação de centrais CHP que geram simultaneamente eletricidade e calor e/ou energia mecânica normalmente localizadas perto dos pontos de consumo de eletricidade;
- Construção de redes de aquecimento e arrefecimento urbano que fornecem energia térmica aos seus consumidores de forma centralizada;
- Produção de biogás que pode ser obtido através da decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários ou a partir de esgotos ou águas sanitárias e é utilizado para aplicações domésticas e para os transportes.

Relativamente ao setor dos transportes, são incentivadas as seguintes medidas e ações:

- Aumento do uso do transporte público: campanhas de informação e marketing, planos inteligentes de viagens para escolas e empresas (transporte coletivo), serviço de informação 24 horas sobre os transportes públicos integrados, aumento do transporte ferroviário e criação de sistemas de transporte gratuito para turistas;
- Aumento do uso de bicicleta: campanhas de marketing, criação de uma rede integrada de ciclovias, informação sobre os percursos existentes, intercâmbios entre bicicletas e transportes públicos, criação de parques de estacionamento, promover o registo de bicicletas para evitar roubos e acordos financeiros para uma infraestrutura de bicicletas;
- Aumento das zonas de prioridade pedonal: criação de zonas de baixa velocidade onde os peões possuem sempre prioridade sobre os carros;
- Redução do número de automóveis: portagens urbanas e gestão do estacionamento (aumento das tarifas, restrições de tempo e controlo do número de lugares disponíveis);
- Redução das emissões a partir dos veículos particulares e municipais: uso de veículos híbridos e elétricos, uso de biocombustíveis (biodiesel, bioetanol e biogás), desenvolvimento de células de combustível de hidrogénio, incentivos fiscais para veículos menos poluentes (estacionamentos gratuitos, atividades experimentais, acesso às zonas ambientais onde os veículos com elevadas emissões de GEE estão proibidos de circular, isenção de pagamento de portagens urbanas, entre outros) e promoção de uma condução ecológica;
- Controlo inteligente do tráfego urbano, que integra e organiza o controlo dos sinais de tráfego. Este sistema de controlo também regula o fluxo de veículos nas autoestradas durante as horas de maior movimentação.

2.2. Casos de estudo

De modo a identificar e comparar as medidas previstas em planos de mitigação, foram selecionados os planos pertencentes a Estocolmo, Lisboa e Londres [25] [26] [27]. Esta análise pretende identificar a relação com o plano base do Pacto de Autarcas e tentar identificar o racional das diferenças entre os planos de diferentes cidades. Como parte dessa análise, é necessário conhecer alguns parâmetros demográficos, geográficos e climáticos dessas três cidades que serão apresentados de seguida.

2.2.1. Parâmetros gerais das cidades

A Tabela 2.2 apresenta alguns parâmetros demográficos, geográficos e climáticos das cidades de Estocolmo, Lisboa e Londres a fim de contextualizar alguns tópicos que serão analisados posteriormente.

Tabela 2.2 - Parâmetros demográficos, geográficos e climáticos referentes aos municípios de Estocolmo Lisboa e Londres.
Fontes: [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34].

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--|-----------|---------|-----------|
| Nº habitantes | 910 000 | 547 631 | 8 630 000 |
| Área (km²) | 188 | 84 | 1 572 |
| Temperatura média do mês mais quente (°C) | 14,4 | 22,0 | 16,4 |
| Temperatura média do mês mais frio (°C) | -1,3 | 11,7 | 4,5 |
| Radiação global horizontal anual (kWh/(m² ano) | 30,2 | 54,1 | 33,1 |
| Velocidade média diária do vento (m/s) | 3,4 | 5,0 | 3,2 |
| Cota mais alta (m) | 56 | 118 | 167 |
| Cota mais baixa (m) | 3 | 2 | 2 |

A velocidade média anual do vento de cada cidade foi calculada através da média da velocidade diária do vento de todos os meses do ano. Em relação à radiação global horizontal anual, esta obteve-se a partir da soma de todos os valores de radiação de cada mês do ano de cada cidade. É de salientar que os valores referentes à velocidade do vento e à radiação global, bem como às temperaturas médias, foram obtidos através dos documentos relativos ao clima de cada cidade que se encontram no *Energy Plus* [33].

Assim sendo, verifica-se que o concelho de Lisboa poderá reunir condições favoráveis para o possível aproveitamento da energia solar e eólica, uma vez que possui valores elevados de radiação global horizontal e de velocidade do vento e uma orografia acentuada.

O município de Estocolmo é aquele com um clima mais frio e com menos radiação solar global, podendo refletir condições menos favoráveis para o aproveitamento da energia solar.

2.2.2. Visão futura dos planos

As metas globais dos três planos de mitigação são:

- Estocolmo: redução de 43% das emissões de CO₂ *per capita*, entre 1990 e 2015;
- Lisboa: redução de 22% das emissões de CO₂, entre 2002 e 2020;
- Londres: redução de 60% das emissões de CO₂, entre 1990 e 2020.

Os planos com metas mais ambiciosas são os de Estocolmo e Londres e o de Lisboa é aquele que apresenta uma meta menos arrojada.

O plano de Estocolmo elaborou o seu primeiro inventário em 1995. Entre 1995 e 2009, a cidade de Estocolmo conseguiu reduzir cerca de 23% as emissões de CO₂e. O Pacto de Autarca refere que todo os seus signatários devem atingir uma redução de, pelo menos, 20% até 2020. Posto isto, Estocolmo já cumpriu essa exigência.

Os níveis das emissões de GEE nos respetivos anos de referência de cada plano encontram-se indicados na secção 2.2.4.

2.2.3. Objetivos e metas para cada setor

Na Tabela 2.3, apresentam-se os objetivos para os setores da energia, edifícios e transportes estabelecidos nos planos de Estocolmo, Lisboa e Londres.

Tabela 2.3 - Objetivos estabelecidos pelos planos em estudo para os setores da energia, edifícios e transportes.

| Setor | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--------------------|---|--|---|
| Energia | Redução de 50% das emissões a partir da rede de calor urbano até 2015 | - | Produção de 25% de energia sustentável a partir de ED até 2025 |
| Edifícios | Redução de 5% do consumo de energia até 2015 | Redução de 2,10%/ano do consumo de energia primária até 2020 | Renovação das habitações até 2030 e locais de trabalho até 2025 e todos os novos edifícios supridos em parte por ED de baixo carbono e renovável até 2025 |
| Transportes | Redução de 15% das emissões de CO ₂ e até 2015 | Redução de 1,49%/ano do consumo de energia primária até 2020 | Redução de 20% nas emissões de CO ₂ até 2025 |

ED: Energia Descentralizada.

(-): Não apresenta.

Setor da energia

Através da tabela anterior, constata-se que todos os planos estabelecem objetivos para o setor da energia, com exceção do plano de Lisboa.

O objetivo do plano de Estocolmo corresponde ao conceito SMART, pois satisfaz as cinco condições:

- Específico: pretende que haja uma redução de 50% nas emissões a partir da rede de calor urbana da central de Fortum, até ao final de 2015.
- Mensurável: quantificado em 50%;
- Alcançável: a central de Fortum possui um programa extenso para a expansão da rede de calor urbana e produção sustentável de energia; Entre 1990 e 2010, foram reduzidas cerca de 600 kt CO₂e a partir da rede de calor urbana,
- Realista: a central de Fortum possui um plano de investimento até 2020;
- Temporal: possui um calendário de implementação definido entre 2012 e 2015.

O plano de Londres possui um objetivo SMART para o setor de energia, uma vez que satisfaz todas as condições:

- Específico: prevê uma produção de 25% de energia sustentável a partir de energia descentralizada até 2025;
- Mensurável: quantitativo em 25%;
- Alcançável: existem vários programas municipais e estratégias para desenvolver esquemas de energia descentralizada em Londres, complementados com as políticas governamentais. Existem diversos projetos de energia descentralizada como é o caso do *BedZed*, *Cranston Estate*, *Southwark Multi-Utility Services Company* e o *London Thames Gateway Heat Network*;
- Realista: a autarquia local possui ações em curso para assegurar os 25% de geração local de energia. Existem fundos municipais, incentivos nacionais e programas que fornecem orientação no desenvolvimento de projetos em diversos bairros da cidade. Existe também o apoio financeiro do setor privado;
- Temporal: possui um calendário compreendido entre 2012 e 2025.

Setor dos edifícios

Relativamente ao plano de Estocolmo, este possui um objetivo SMART, pois verifica as cinco condições:

- Específico: pretende atingir uma redução de 5% no consumo de energia em todos os edifícios da cidade através de medidas de eficiência energética até ao final de 2015;
- Mensurável: quantificado em 5%;
- Alcançável: existem diversas medidas propostas para que sejam feitas renovações nos edifícios da cidade. Os edifícios têm vindo a ser renovados a uma taxa anual de 1%.
- Realista: existem vários tipos de financiamentos e consultorias energéticas a fim de se obter métodos eficientes na redução do uso de energia;
- Temporal: possui um prazo compreendido entre 2012 e 2015.

O objetivo do plano de Lisboa para o setor dos edifícios corresponde ao conceito SMART, dado que verifica todos os requisitos:

- Específico: centra-se na redução anual do consumo de energia primária a uma taxa de 2,10%/ano para os edifícios residenciais e de serviços até 2020;
- Mensurável: quantificado em 2,10% por ano;
- Alcançável: existem medidas e ações para se atingir essa redução através do aumento da eficiência energética e do uso de energias renováveis;
- Realista: existem diversas fontes de financiamento e o envolvimento das partes interessadas e dos cidadãos;
- Temporal: possui um calendário de implementação compreendido entre 2009 e 2020.

O plano de Londres não possui um objetivo SMART, pois não satisfaz as cinco condições:

- Específico: pretende que sejam feitas renovações em todas as habitações até 2030 e na maioria dos locais de trabalho até 2025 através de medidas de eficiência energética e da geração de energia sustentável, e que todos os novos edifícios sejam supridos em parte por energia descentralizada de baixo carbono e renovável até 2025.
- Não é mensurável: não quantifica nenhum valor;
- Alcançável: existem diversas políticas, programas municipais e governamentais para o cumprimento desse objetivo. Existem cerca de 1 000 casas-piloto e outras 10 000 em fase de demonstração;
- Realista: existem programas municipais e governamentais que fornecerão apoio financeiro, orientação e aconselhamento por parte de equipas especializadas na eficiência energética;
- Temporal: possui um calendário de implementação definido entre 2012 e 2030.

Setor dos transportes

O plano de Estocolmo possui um objetivo SMART, visto que verifica as cinco condições:

- Específico: programa uma redução nas emissões a partir do tráfego rodoviário em 15% até ao final de 2015;
- Mensurável: quantificado em 15%;
- Alcançável: existem diversas estratégias para reduzir as emissões a partir do transporte rodoviário de passageiros e de mercadorias. Houve uma diminuição de 10% nas emissões de GEE entre 2000 e 2010, como resultado dos investimentos realizados no transporte público, nas faixas para bicicletas, do aumento da produção de biogás e do uso de veículos mais eficientes;
- Realista: existe um orçamento para 2012 que inclui grandes investimentos para aumentar o número de ciclistas na cidade, a autarquia apoia diversos projetos de expansão no transporte público e investe em veículos mais eficientes;
- Temporal: possui um prazo demarcado entre 2012 e 2015.

O objetivo do plano de Lisboa corresponde ao conceito SMART, uma vez que verifica todos requisitos:

- Específico: pretende reduzir o consumo de energia primária a partir do setor dos transportes a uma taxa anual de 1,49%;
- Mensurável: quantificado em 1,49% ao ano;
- Alcançável: existe um conjunto de medidas e ações definidas para reduzir o consumo de energia primária através do aumento da eficiência energética, que serão apresentadas posteriormente;
- Realista: existem diversas fontes de financiamento e o envolvimento das partes interessadas e dos cidadãos;
- Temporal: possui um calendário definido entre 2009 e 2020.

O plano de Londres possui um objetivo SMART, visto que satisfaz todas as condições necessárias:

- Específico: tem como intuito a redução de 20% nas emissões de CO₂ a partir do setor dos transportes até 2025, com uma infraestrutura menos poluente e um acesso a opções de transporte cada vez mais eficientes;
- Mensurável: quantificado em 20%;
- Alcançável: existem várias estratégias e programas municipais para reduzir as emissões e a autarquia local irá fazer com que o governo seja mais ambicioso nas políticas energéticas nacionais. A autarquia já se encontra a efetuar melhorias na rede de metro da cidade e a apoiar o desenvolvimento da eficiência nos combustíveis;
- Realista: existem vários investimentos na expansão da partilha de automóveis e incentivos fiscais para a compra de veículos mais eficientes;
- Temporal: possui um prazo compreendido entre 2012 e 2025.

Assim sendo, conclui-se que todos os planos possuem objetivos SMART, com exceção do plano de Londres cujo objetivo para o setor dos edifícios não é mensurável.

2.2.4. Inventário de Referência de Emissões

Os limites geográficos dos três planos são os municípios de Estocolmo, Lisboa e Londres.

Na Tabela 2.4 apresentam-se o ano de referência, fator e unidade de emissão adotados pelos três planos de mitigação.

Tabela 2.4 - Dados referentes ao ano de referência, fator e unidade de emissão adotados pelos planos em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|---------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Ano de referência | 2009 | 2002 | 2006 |
| Fator de emissão | ACV | IPCC | IPCC |
| Unidade de emissão | CO ₂ e | CO ₂ | CO ₂ |

Salienta-se o facto de cada plano ter adotado anos de referência distintos daqueles que apresentam na meta global, com exceção do plano de Lisboa.

O plano de Estocolmo adotou 2009 como ano de referência, mas utilizou 2010 em termos de comparação nos objetivos e metas para cada setor (subcapítulo 2.2.3) e em algumas reduções de CO₂e e de energia primária na identificação das medidas de mitigação (subcapítulo 2.2.5).

Dados de atividade

- **Consumo de energia**

O plano de Lisboa não apresenta o consumo final de energia no seu ano de referência.

Relativamente ao plano de Estocolmo, este refere que em 2009 houve um consumo total de energia de cerca 19 TWh, em que 15,2 TWh foram utilizados para aquecimento, eletricidade e gás e 3,8 TWh foram utilizados pelo setor dos transportes.

O consumo total de energia utilizado em Londres foi de 154 TWh em 2006, entre os quais 40 TWh foram utilizados para consumo de eletricidade (38 TWh no setor dos edifícios e 2 TWh nos transportes elétricos como o metro de Londres) e 114 TWh para aquecimento.

- **Emissões de GEE**

Em 2009, as emissões totais em Estocolmo foram cerca de 2,9 Mt CO₂e, entre as quais 1,3 Mt CO₂e provenientes da produção de calor, 0,7 Mt CO₂e a partir de eletricidade residencial e gás e 0,9 Mt CO₂e resultantes do setor dos transportes.

Em Lisboa, as emissões totais em 2002 foram de 3,9 Mt CO₂, em que 2,3 Mt CO₂ a partir do setor residencial, de serviços e industrial e 1,6 Mt CO₂ derivadas do setor dos transportes.

Em Londres, as emissões totais foram cerca de 47,5 Mt CO₂ em 2006, em que 37,6 Mt CO₂ a partir do setor dos edifícios (20,5 Mt CO₂ dos edifícios terciários e 17,1 Mt CO₂ dos edifícios residenciais) e 9,9 Mt CO₂ provenientes do setor dos transportes.

- **Produção local de eletricidade**

A produção de energia em Estocolmo é maioritariamente efetuada pela geração de calor e eletricidade na central de cogeração de Fortum. O uso de energia solar para produção de eletricidade e calor é bastante incomum em Estocolmo e a instalação de parques eólicos em grande escala é muito pouco

provável devido aos problemas de ruído e iluminação que estes poderiam causar. Contudo, existe um grande potencial inexplorado na cidade para aumentar a produção de energia sustentável. O plano de Estocolmo refere que anualmente se produz cerca de 300 GWh de eletricidade a partir da incineração de resíduos da caldeira P7.

O plano de Lisboa não facultava nenhuma informação relativa à geração local de eletricidade.

Apesar do plano de Londres não apresentar nenhum valor relativo à geração local de eletricidade, este menciona a existência, dentro do seu município, de produção de energia a partir da biomassa, resíduos, dispositivos fotovoltaicos e térmicos, bombas de calor geotérmicas e ainda a existência de uma turbina eólica instalada na empresa de autocarros *West Ham Bus Garage*. Existem também centrais CHP em Londres.

- **Produção local de calor/frio**

Em Estocolmo, o aquecimento urbano é responsável por mais de 80% das necessidades de calor e de água quente na cidade. As restantes necessidades de aquecimento são supridas por permutadores geotérmicos e por centrais de aquecimento que utilizam a queima de pellets. Estima-se que mais de 10 000 edifícios utilizam aquecedores elétricos e várias habitações utilizam ainda 600-800 caldeiras a óleo como apoio à rede de calor urbano ou às bombas de calor quando existem picos de aquecimento. O plano de Estocolmo indica que são gerados anualmente:

- 1,7 GWh de calor a partir da incineração de resíduos da caldeira P7;
- 10 GWh de calor a partir da caldeira a petróleo P12;
- 700 GWh de calor a partir de caldeiras a biocombustíveis da central P4.

O plano de Lisboa não fornece também nenhum dado acerca da geração local de calor/frio.

O plano de Londres não refere nenhum valor sobre a geração local de calor ou frio mas faz alusão à existência de unidades de cogeração existentes e de redes de calor urbanas.

2.2.5. Identificação de medidas de mitigação

Nesta parte do trabalho, serão apresentadas as medidas de mitigação para os setores de produção de energia, edifícios e transportes estabelecidas pelos três planos e as estimativas das reduções de emissões de CO₂ ou CO₂e e de energia primária associadas a essas medidas.

O plano de Lisboa não estabeleceu uma secção específica de medidas para o setor de energia.

Setor da Energia

- **Plano de Estocolmo**

Para assegurar a redução de metade das emissões de CO₂e a partir da rede de calor urbana da central Fortum até ao final de 2015, o plano de Estocolmo estabeleceu um conjunto de medidas que se encontram apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 2.5 - Medidas definidas pelo plano de Estocolmo para o setor da energia.

| Medidas | |
|--|---|
| Expansão da rede de calor urbana | |
| Produção de energia eólica | |
| Produção de energia solar | |
| Conexão dos edifícios à rede de calor urbana | |
| Instalação de sistemas de energia geotérmica | |
| Produção de biogás | |
| Redução total de GEE | - |
| Redução total de Energia | - |

(-): Não apresenta.

A expansão da rede de calor urbana da central Fortum contribuirá para uma redução de 320 kt CO₂e, entre 2015 e 2010, e será efetuada a partir de:

- Renovação das instalações: conversão para pelotas de madeira da caldeira P12 em Värtaverket, conversão para biocombustíveis da caldeira P4 em Hässelby, aumentar a proporção de biocombustível na central de cogeração KVV6 a carvão de Värtaverket, instalação de uma nova caldeira P7 que irá operar a partir da incineração de resíduos em Högdalen e construção de uma central de cogeração KVV8 que irá operar a biocombustíveis;
- Desenvolvimento da rede de calor urbana: todos os tipos de recursos de energia operam em conjunto numa rede inteligente para o transporte de energia térmica a partir de instalações com excedentes para instalações com défices de energia. Todos os edifícios serão produtores e consumidores de energia a longo-prazo.

A autarquia de Estocolmo prevê a produção de energia renovável através da instalação de pequenas turbinas eólicas e de painéis solares fotovoltaicos e térmicos nos edifícios. Existe a possibilidade de 50% das águas quentes sanitárias serem aquecidas a partir de painéis solares térmicos, contribuindo para uma redução anual nas emissões de cerca 50 kt CO₂e e na energia primária de 400 GWh.

Em Estocolmo, cerca de 15 000 habitações recorrem ao uso de aquecedores elétricos. A fim de substituir estes equipamentos, a autarquia local programa conectar edifícios à rede de calor urbana através da instalação de sistemas de águas subterrâneas e prevê também a instalação de sistemas de energia geotérmica à base de água.

O aumento da produção de biogás para ser utilizado como combustível para veículos será feito a partir do aumento da coleta de resíduos alimentares, da expansão da capacidade de produção de biogás por

meio de novas instalações e do aumento da cooperação entre os produtores, distribuidores e consumidores finais. Caso 40% de todos os resíduos alimentares forem recolhidos e utilizados para produção de biogás, serão poupadas cerca de 10 kt CO₂e e produzidos 42 GWh de biogás entre 2010 e 2015.

- **Plano de Londres**

Para garantir as necessidades de energia das habitações, locais de trabalho e infraestruturas de Londres através da produção de 25% de energia sustentável a partir de energia descentralizada, o plano de Londres definiu um conjunto de medidas, apresentadas na Tabela 2.6, que contribuirão para uma redução total anual de 2,5 Mt CO₂ e uma poupança total de 29 TWh até 2025.

Tabela 2.6 - Medidas definidas pelo plano de Londres para o setor da energia.

| Medidas | |
|---|------------------------|
| Produção de energia da biomassa | |
| Produção de energia a partir de resíduos | |
| Produção de energia solar | |
| Instalação de bombas de calor geotérmicas | |
| Desenvolvimento de tecnologias eólicas | |
| Apoio às células de combustível de hidrogénio | |
| Redução total de GEE | 2,5 Mt CO ₂ |
| Redução total de Energia | 29 TWh |

O plano de Londres aposta no aumento de sistemas de energia descentralizada de baixo carbono, nomeadamente no uso de fontes de energia renovável ou de baixo carbono para geração de eletricidade e calor:

- Larga escala: centrais CHP que operam a biomassa e resíduos;
- Média e pequena escala: painéis solares fotovoltaicos e térmicos, bombas de calor geotérmicas e energia da biomassa.

Para além destas tecnologias, o plano apoia também as células de combustível a hidrogénio, promovendo as suas vantagens em larga e pequena escala. Pretende também que haja o desenvolvimento de tecnologias eólicas, existindo o apoio por parte da câmara de Londres na instalação do parque eólico *offshore London Array* no estuário do rio Tamisa.

A fim de expandir e desenvolver sistemas de energia descentralizada ou incluir novos sistemas a nível local, será necessário:

- Conectar as redes de calor e frio urbanas sempre que possível ou instalar sistemas CHP;
- Atualizar dados para identificar boas oportunidades de energia descentralizada;
- Fornecer aconselhamento e apoio financeiro às partes interessadas;
- Apresentar projetos de demonstração, como *The London Thames Gateway Heat Network*.

Setor dos Edifícios

- **Plano de Estocolmo**

A fim de reduzir 5% o consumo de energia em todos os edifícios da cidade até ao final de 2015, o plano de Estocolmo estabeleceu medidas políticas e técnicas para os edifícios privados e municipais, apresentadas na Tabela 2.7, que irão reduzir no total cerca de 2800 GWh por ano. As medidas técnicas aplicadas aos edifícios municipais irão contribuir para uma redução de 3,7 kt CO₂e e de 281 GWh, entre 2010 e 2015.

Tabela 2.7 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo Plano de Estocolmo para o setor dos edifícios.

| Medidas Políticas | |
|--|--------------|
| Auditorias energéticas | |
| Cursos de formação | |
| Projetos de demonstração | |
| Financiamentos | |
| Medidas Técnicas | |
| Películas solares para janelas | |
| Iluminação mais eficiente com controlo inteligente | |
| Sistemas de ventilação com recuperação de calor | |
| Bombas de calor | |
| Isolamentos das fachadas | |
| Janelas mais eficientes | |
| Conexão à rede de calor urbana | |
| Permutadores de calor geotérmicos | |
| Painéis solares térmicos e fotovoltaicos | |
| Redução total de GEE | - |
| Redução total de Energia | 2800 GWh/ano |

(-): Não apresenta

O plano de Estocolmo pretende que sejam criadas redes de partilha de conhecimento, onde os proprietários poderão entrar em contacto com especialistas sobre a tomada de medidas de eficiência energética e o processo envolvido, existe informação sobre cursos de formação, financiamentos acessíveis e projetos de demonstração de edifícios renovados e de novas construções na cidade. A autarquia pretende também que seja fornecida assistência especializada nas renovações de edifícios culturais, históricos ou de valor arquitetónico.

A fim de reduzir as necessidades de arrefecimento nos escritórios, o plano prevê a aplicação de telas solares nas janelas, iluminações mais eficientes com controlo inteligente e a instalação de equipamentos mais eficientes.

A autarquia de Estocolmo pretende também reduzir as emissões de CO₂e em sete edifícios municipais, através de diversas medidas técnicas tais como sistemas mais eficientes de ventilação, isolamentos das fachadas, substituição de aquecedores elétricos pela conexão à rede de calor urbana ou instalação de permutadores de calor geotérmicos, instalação de painéis solares, entre outras. As medidas técnicas indicadas na Tabela 2.7 serão também tidas em conta na construção de novos edifícios na cidade de Estocolmo.

- **Plano de Lisboa**

A fim de atingir uma meta de redução do consumo de energia primária de 2,10%/ano até 2020, o plano de Lisboa estabeleceu um conjunto de medidas para os edifícios residenciais e de serviços, apresentadas na Tabela 2.8, que contribuirão para uma redução total de 522 kt CO₂ e de 2082 GWh até 2020.

Tabela 2.8 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo plano de Lisboa para o setor dos edifícios.

| Medidas Políticas | |
|--|------------------------|
| Campanhas de sensibilização | |
| Medidas Técnicas | |
| Renovação de eletrodomésticos por equipamentos mais eficientes | |
| Iluminações mais eficientes | |
| Painéis solares fotovoltaicos e térmicos | |
| Redução total de GEE | 522 kt CO ₂ |
| Redução total de Energia | 2082 GWh |

O plano de Lisboa não efetuou nenhuma descrição das medidas estabelecidas para este setor.

- **Plano de Londres**

O plano de Londres estabelece medidas para os edifícios residenciais, terciários e municipais apresentadas na Tabela 2.9, que diminuirão cerca de 7,66 Mt CO₂ a partir das habitações, 9,6 Mt CO₂ a partir dos locais de trabalho e 2,5 kt CO₂ anuais nos edifícios municipais até 2025.

Tabela 2.9 - Medidas políticas e técnicas definidas pelo plano de Londres para o setor dos edifícios.

| Medidas Políticas | |
|---|---|
| Auditorias energéticas | |
| Financiamentos | |
| Projetos de demonstração | |
| Cursos de formação | |
| Partilha das melhores práticas | |
| Programas de sensibilização | |
| Medidas técnicas | |
| Isolamentos das fachadas | |
| Painéis solares térmicos e fotovoltaicos | |
| Bombas de calor geotérmicas | |
| Contadores de energia inteligentes | |
| Iluminações mais eficientes com sensores de movimento | |
| Sistemas de ventilação mais eficientes | |
| Redução total de GEE | - |
| Redução total de Energia | - |

(-): Não apresenta.

Através de alguns programas municipais, serão fornecidas auditorias energéticas, financiamentos através de fundos centrais e regionais e *workshops* de eficiência energética. Existem diversos projetos de demonstração em dez bairros de Londres para provarem que as poupanças de energia são possíveis, incluindo 13 000 habitações, 1 000 lojas e empresas, 20 escolas, hospitais e centros comunitários. O plano programa também que exista a partilha das melhores práticas por empresas líderes na redução das emissões de CO₂, influenciando outras a fazerem o mesmo e a procurarem serviços e produtos de baixo carbono. Serão ainda criados diversos programas de sensibilização direcionados aos funcionários municipais para que estes adotem comportamentos mais racionais de poupança de energia.

A renovação das habitações existentes passará pelos isolamentos das paredes e sótãos quando apropriados, instalação de tecnologias renováveis e de contadores inteligentes que permitem a monitorização do uso de energia em tempo real e do custo associados aos padrões de consumo.

A autarquia local pretende também instalar nos seus edifícios municipais novas iluminações com sensores de movimentos, novas unidades de ventilação, isolar as fachadas e investigar possibilidades de instalação de tecnologias de microgeração renovável nos novos edifícios municipais. A câmara de Londres possui atualmente painéis solares nos seus telhados e o edifício *Palestra* possui uma unidade de trigeriação e um sistema de cogeração. Existe também uma turbina eólica no *West Ham Bus Garage*. Para além disso, serão instaladas tecnologias renováveis noutros edifícios municipais como painéis solares fotovoltaicos e térmicos e bombas de calor geotérmicas. O plano de Londres programa também que sejam incorporadas nos novos edifícios as medidas técnicas apresentadas na Tabela 2.9.

Setor dos Transportes

- **Plano de Estocolmo**

Para reduzir 15% das emissões de CO₂e a partir do tráfego rodoviário até ao final de 2015, o plano de Estocolmo estabeleceu medidas direcionadas para os transportes privados e municipais, indicadas na Tabela 2.10. Caso todas as medidas e ações forem executadas, haverá uma redução total de 103 kt CO₂e até 2015, comparativamente a 2010.

Tabela 2.10 - Medidas definidas pelo plano de Estocolmo para o setor dos transportes.

| Medidas | |
|---|--------------------------|
| Aumento do uso de bicicleta | |
| Aumento do uso dos transportes públicos | |
| Aumento do número de veículos "verdes" | |
| Aumentar a proporção de biocombustíveis na gasolina e gasóleo | |
| Incentivo à partilha de automóveis | |
| Mudança do transporte de mercadorias rodoviário para ferroviário e marítimo | |
| Incentivo à adoção de uma condução ecológica | |
| Redução total de GEE | 103 kt CO ₂ e |
| Redução total de Energia | - |

(-): Não apresenta.

O aumento do uso da bicicleta será efetuado por meio de campanhas de informação acerca das alternativas ao uso do automóvel privado e das leis e regulamentos alusivos às bicicletas, expansão do aluguer de bicicletas na cidade, introdução de sinais de trânsito, aumento dos intercâmbios entre bicicletas e o transporte público, entre outros.

Para desenvolver transportes públicos atrativos e menos poluentes, o plano programa o fornecimento de informações sobretudo para empresas para que estas optem pelo transporte público em viagens em trabalho e do trabalho para casa e vice-versa, aumento de faixas reservadas para autocarros e de sinalizações prioritárias, aumento do número de barcos pela cidade, expansão da rede de comboios e elétricos e do incremento do número de autocarros que utilizem combustíveis renováveis.

A fim de aumentar o acesso ao uso de bicicleta e de transportes públicos serão ainda criadas medidas de estacionamento (tarifas mais elevadas e redução do número de lugares de estacionamento perto dos locais de trabalho), introdução de portagens urbanas e inquéritos sobre o tráfego urbano fora da cidade a fim de descobrir como este pode ser reduzido e de converter o uso de automóvel para outras alternativas.

O aumento do número de veículos “verdes”, sobretudo elétricos, híbridos e a biocombustíveis será efetuado através de campanhas de informação, projetos de demonstração (veículos e o seu manuseamento estão incluídos), aumento da produção de biogás, expansão de zonas ambientais e da reintrodução de prémios de desmantelamento. Para os veículos de mercadorias menos poluentes, serão introduzidos incentivos fiscais como o estacionamento gratuito, utilização de faixas de bus, períodos

de entrega prolongados, demandas adicionais em zonas ambientais e prioridade na sinalização. A autarquia pretende também investigar possibilidades para facilitar a conversão do transporte de mercadorias rodoviário para ferroviário e marítimo.

Para reduzir o consumo de combustível e das emissões nos veículos existentes, a autarquia local prevê o aumento da proporção de biocombustíveis na gasolina e no gasóleo, a adoção de uma condução ecológica e de campanhas de informação sobre o consumo de combustível.

O plano define também a realização de atividades para incentivar a adesão de partilha de automóveis para empresas e particulares com o intuito de promover alternativas ao uso do automóvel privado.

- **Plano de Lisboa**

As medidas aplicadas ao setor dos transportes pelo plano de Lisboa encontram-se definidas na Tabela 2.11. Estas medidas irão contribuir para uma redução de 258 kt CO₂ e 1 001 GWh até 2020.

Tabela 2.11 - Medidas definidas pelo plano de Lisboa para o setor dos transportes.

| Medidas | |
|--|------------------------|
| Aumento do número de veículos menos poluentes | |
| Aumento do desempenho dos pneus e da utilização da pressão correta | |
| Melhoria dos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários | |
| Incentivo à adoção de uma condução ecológica | |
| Aumento do uso do transporte marítimo | |
| Aumento do uso do transporte ferroviário | |
| Aumento da eficiência energética dos sistemas de transportes | |
| Redução total de GEE | 258 kt CO ₂ |
| Redução total de Energia | 1001 GWh |

Este plano não especificou nenhuma descrição para cada medida aplicada ao setor dos transportes.

- **Plano de Londres**

A Tabela 2.12 apresenta as medidas definidas pelo plano de Londres para o setor dos transportes, contribuindo para uma redução total de 1,55 Mt CO₂ até 2025.

Tabela 2.12 - Medidas definidas pelo plano de Londres para o setor dos transportes.

| Medidas | |
|---|-------------------------|
| Aumento do uso da bicicleta | |
| Aumento do uso dos transportes públicos | |
| Aumento dos níveis de caminhadas | |
| Mudança do transporte de mercadorias rodoviário para ferroviário e marítimo | |
| Criação de alternativas para a aviação | |
| Incentivo à adoção de uma condução ecológica | |
| Diminuição do tráfego automóvel | |
| Aumento do uso de veículos "verdes" | |
| Uso de tecnologias menos poluentes nas infraestruturas dos transportes | |
| Uso de biocombustíveis | |
| Redução total de GEE | 1,55 Mt CO ₂ |
| Redução total de Energia | - |

(-): Não apresenta.

O aumento do uso de bicicleta será feito por meio do aumento de *stands* de aluguer de bicicletas, criação de faixas, sensibilização para os benefícios do uso de bicicleta e aumento do número de lugares de estacionamento.

Com o intuito de aumentar o uso dos transportes públicos, o plano programa o incremento do uso de comboios (incluindo o *Crossrail*) e metro, otimização da rede de autocarros, introdução de planos de viagens inteligentes para escolas e empresas, aumento do número de *stands* para a partilha de automóveis e aumento dos intercâmbios entre diferentes tipos de transporte.

A autarquia local pretende aumentar os acessos pedestres a partir da melhoria do ambiente urbano para garantir segurança e condições confortáveis para os peões, fornecimento de informações nas ruas sobre as zonas existentes para caminhadas e planeamento urbano para a criação de percursos pedestres.

A conversão do transporte de mercadorias rodoviário para ferroviário e marítimo será efetuada através da criação de planos de entrega mais eficientes, apoio em novos terminais de transporte ferroviário de mercadorias em Londres ou nas proximidades e aumento da segurança nos cais para o transporte marítimo.

As alternativas para a aviação passarão pela introdução de serviços ferroviários diretos para vários destinos europeus e desenvolvimento do transporte ferroviário de alta velocidade para o norte de Inglaterra e Escócia.

A fim de sensibilizar os cidadãos sobre o impacto do estilo de condução e manutenção dos veículos no consumo de combustível, a autarquia de Londres pretende que haja mudanças de comportamento e medidas de viagem mais inteligentes com vista a incentivar a prática de uma condução ecológica e uma melhor manutenção dos veículos.

A redução do tráfego automóvel passará pela reformulação dos sinais de trânsito, modernização do centro de controlo de tráfego de Londres e introdução de um regime de autorizações para trabalhos de estradas.

Com objetivo de aumentar o número de veículos menos poluente, o plano prevê a introdução de 100 000 veículos elétricos e 1 000 para a autarquia até 2020, implementação de 25 000 pontos de carga para veículos elétricos até 2015, introdução de 5 autocarros a hidrogénio a partir de 2010, introdução de autocarros híbridos para o transporte público a partir de 2012, acesso às zonas ambientais por veículos menos poluentes, diferenciação nas tarifas de estacionamento com base nas emissões dos veículos e introdução de veículos elétricos nos *stands* de partilha de automóveis.

O uso de tecnologias menos poluentes nas infraestruturas dos transportes será feito através de investimentos para completar a eletrificação da rede ferroviária em Londres, investigação do uso de bombas de calor no projeto do *Crossrail*, conversão dos sinais de trânsito para tecnologias LED e introdução de sensores LED de escurecimento e iluminação.

A autarquia pretende apoiar o uso de biocombustíveis, examinando a sua viabilidade em veículos municipais e incentivando outros cidadãos a fazer o mesmo.

2.2.6. Implementação de medidas

- **Orçamento**

A Tabela 2.13 apresenta os orçamentos previstos para implementação das medidas definidas pelos planos em estudo.

Tabela 2.13 - Orçamentos que cada plano dispõe para o cumprimento das respetivas metas globais.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|-------------------------------------|-----------|----------|-----------|
| Orçamento total | - | 8,25 M€ | 17 000 M€ |
| Orçamento por habitante | - | 15 € | 1,9 M€ |
| Orçamento por km² | - | 98 214 € | 10,8 M€ |

(-): Não apresenta.

O plano de Estocolmo não forneceu nenhuma informação acerca do orçamento total das atividades para o cumprimento da sua meta global nem das suas fontes de financiamento.

O plano de Lisboa dispõe de um orçamento anual de cerca de 750 000€ e num espaço de 11 anos irá dispor de 8,25 M€. Sabendo que o município de Lisboa possui 547 631 habitantes e uma área de 84 km², serão investidos cerca de 15 €/habitante e 98 214 €/km².

Relativamente ao plano de Londres, este dispõe de um orçamento total de 17 Biliões£. Sabendo que a cidade de Londres possui 8 630 000 habitantes e uma área de 1 572 km², serão investidos cerca de 1,9 M€/habitante e 10,8 M€/km².

Dentro da informação disponível, conclui-se que o plano que investe mais é o de Londres.

• Fontes de Financiamento

O plano de Lisboa faz referência a diversas fontes de financiamento nomeadamente as quotas dos associados, projetos no âmbito da *Intelligent Energy-Europe*, *EEA Grants*, “Sétimo Programa Quadro” (2007-2013) e o “Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica”.

As fontes de financiamento do plano de Londres provêm do programa governamental *Homes Energy Efficiency Programme*, do fundo europeu *JESSICA Fund*, do setor privado através do *London Green Fund* e ainda de vários fundos municipais.

2.2.7. Seguimento

O plano de Estocolmo não fornece nenhuma informação sobre como será realizado o acompanhamento das medidas de mitigação e a avaliação dos resultados.

Relativamente ao plano de Lisboa, o seguimento da implementação das medidas e dos resultados será efetuado através da atividade contínua da LISBOA E-NOVA na monitorização dos projetos em curso e da atualização da matriz energética no concelho de Lisboa.

Quanto ao plano de Londres, serão disponibilizados *online* relatórios públicos com as emissões atualizadas de CO₂, os impactos das medidas estabelecidas pelo plano e ainda detalhes acerca da sua implementação.

2.3. Análise dos planos

Após a análise dos três planos, foram encontradas falhas nos seguintes tópicos:

- Objetivos e metas para cada setor;
- Inventário de Referência de Emissões;
- Identificação das medidas de mitigação;
- Implementação de medidas;
- Seguimento.

Objetivos e metas para cada setor

Quanto aos objetivos e metas para cada setor, o plano de Lisboa não apresenta objetivos para o setor da energia e o objetivo do plano de Londres não é mensurável e, como tal, não corresponde ao conceito SMART.

Inventário de Referência de Emissões

Apesar de o plano de Estocolmo ter adotado 2009 como ano de referência, utiliza 2010 como base de comparação nos objetivos para cada setor e nas reduções das emissões e de energia primária na parte da identificação de medidas.

Relativamente aos dados de atividade, encontraram-se as seguintes falhas:

- O plano de Lisboa não apresentou valores relativos ao consumo final de energia;
- Os planos de Lisboa e Londres não apresentaram valores relativos à produção local de eletricidade e de produção local de calor/frio.

Medidas de mitigação

As principais falhas encontradas na apresentação das medidas de mitigação foram:

- O plano de Lisboa não apresenta uma secção específica de medidas para o setor de energia, apesar de indicar no setor dos edifícios o aumento da implementação de painéis solares fotovoltaicos e térmicos;
- O plano de Lisboa não efetuou nenhuma descrição das medidas que definiu;
- Os planos de Estocolmo e Londres não apresentam, por vezes, as estimativas das reduções das emissões e de energia primária associadas às medidas que irão aplicar;

A Tabela 2.14 sintetiza as medidas principais definidas pelos três planos para os setores de energia, edifícios e transportes.

Tabela 2.14 - Síntese das principais medidas de mitigação definidas pelos planos para os setores da energia, edifícios e transportes.

| Setor | Medidas | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--------------------|-----------------------------------|-----------|--------|---------|
| Energia | Energia solar | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Energia eólica | ✓ | X | ✓ |
| | Energia da biomassa | ✓ | X | ✓ |
| | Energia geotérmica | ✓ | X | ✓ |
| | Centrais CHP | ✓ | X | ✓ |
| | Redes de calor e frio | ✓ | X | ✓ |
| | Produção de biogás | ✓ | X | X |
| Edifícios | Edifícios de demonstração | ✓ | X | ✓ |
| | Financiamentos e empréstimos | ✓ | X | ✓ |
| | Informação | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Formação | ✓ | X | ✓ |
| | Auditorias energéticas | ✓ | X | ✓ |
| | Reconhecimento | X | X | X |
| Transportes | Aumento do uso de bicicleta | ✓ | X | ✓ |
| | Aumento do transporte ferroviário | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Aumento do transporte marítimo | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Gestão do estacionamento | ✓ | X | ✓ |
| | Expansão de zonas ambientais | ✓ | X | ✓ |
| | Introdução de portagens urbanas | ✓ | X | X |
| | Partilha de automóveis | ✓ | X | ✓ |
| | Uso de veículos elétricos | ✓ | - | ✓ |
| | Uso de veículos híbridos | ✓ | - | ✓ |
| | Uso de veículos a hidrogénio | X | - | ✓ |
| | Uso de biocombustíveis | ✓ | ✓ | ✓ |
| | Adoção de condução ecológica | ✓ | ✓ | ✓ |

✓: Programa. X: Não programa (-): Não descreve

Segundo a tabela anterior, verifica-se que existe uma forte aposta nas energias renováveis, sobretudo na energia solar. O plano de Lisboa prevê apenas a instalação de painéis solares fotovoltaicos e térmicos nos edifícios residenciais e de serviços, tirando partido dos valores elevados de radiação global em superfície horizontal ao longo do ano. Apesar do concelho de Lisboa possuir valores elevados de velocidade do vento e uma orografia acentuada com cotas elevadas conforme a Tabela 2.2, não existe a previsão da instalação de pequenas turbinas eólicas devido à forte edificação existente, originando regimes turbulentos de vento. Salienta-se também o facto de este plano não ter programado a expansão das redes de calor e frio pelo resto da cidade devido à elevada variação de relevo existente (“cidade das 7 colinas”).

Os planos de Estocolmo e Londres foram os que estabeleceram maior número de medidas para a geração de energia, sendo algumas destas bastante ambiciosas. A cidade de Estocolmo possui um

valor baixo de radiação global anual em superfície horizontal, onde a energia solar é bastante invulgar. Londres possui os habituais dias cinzentos e chuvosos ao longo do ano. Contudo, os planos destas duas cidades preveem a instalação de painéis solares fotovoltaicos e térmicos. Estas duas cidades carecem de locais para a instalação de parques eólicos de grande escala e devido à forte edificação existente, os respetivos planos apostam na instalação de pequenas turbinas eólicas. Destaca-se também o facto de estes planos terem definido medidas para a geração de energia geotérmica e da biomassa, instalação de centrais CHP, expansão das suas redes de calor e o plano de Estocolmo prevê ainda o aumento da produção de biogás.

À semelhança de Estocolmo e Londres que possuem medidas para o aproveitamento de diversos tipos de energia renovável, o município de Lisboa poderia realizar estudos de modo a desenvolver tecnologias renováveis para além da solar, sobretudo a eólica na forma de pequenas turbinas uma vez que dispõe de condições vantajosas para a geração deste tipo de energia.

Relativamente ao setor dos edifícios, o plano de Lisboa é aquele que estabeleceu menos medidas políticas para o setor dos edifícios, fazendo apenas alusão às campanhas de informação sobre eficiência energética. Os restantes planos definem um vasto conjunto de medidas que visam a redução do consumo nos edifícios. Entre elas destacam-se os edifícios e projetos de demonstração que provam que existe segurança na tomada de medidas de eficiência energética, os apoios financeiros e as auditorias energéticas. A formação de pessoas na área da eficiência energética é uma aposta bastante viável pois irá fornecer informação sobre o uso racional da energia elétrica bem como a identificação de oportunidades de eficiência energética e ainda acerca de mudanças de comportamento. Contudo, nenhum plano estabeleceu medidas que visam o reconhecimento de pessoas que procederam à renovação ou construção de edifícios eficientes.

O município de Lisboa poderia apostar na formação de pessoas e dar a conhecer os edifícios renovados ou novos edifícios com baixos consumos de energia a fim de incentivar a população a adotar comportamentos racionais de energia e aplicar medidas de eficiência energética.

Em relação ao setor dos transportes, o plano de Lisboa é novamente o plano que menos apresenta medidas para o setor dos transportes. Existe uma forte aposta no aumento do uso do transporte ferroviário e marítimo e todos os planos promovem o uso de bicicleta, exceto o plano de Lisboa já que esta cidade possui uma orografia bastante acentuada.

Os planos de Estocolmo e Londres pretendem reduzir o número de automóveis pelas cidades através da introdução de portagens urbanas, da gestão do estacionamento como o aumento das tarifas de estacionamento e da redução do número de lugares, do aumento das zonas ambientais onde os veículos mais poluentes estão proibidos de circular e *stands* de partilha de automóveis.

Para reduzir as emissões dos veículos existentes, existe uma forte aposta no uso de veículos verdes, sobretudo nos veículos elétricos e híbridos. O plano de Londres vai mais longe e prevê o desenvolvimento de veículos a hidrogénio. O plano de Lisboa não refere o tipo de veículos “verdes” que deseja promover. Os incentivos fiscais recaem na permissão dos veículos menos poluentes circularem nas zonas ambientais, na diferenciação das tarifas de estacionamento com base nas emissões dos veículos, entre outros. Os três planos preveem ainda a promoção da adoção de uma condução ecológica que é fundamental pois permite uma diminuição no consumo de combustível, na redução das emissões de GEE e ainda reduzi a ocorrência do número de sinistros.

Implementação e seguimento de medidas

O plano de Estocolmo foi o único que não facultou informação acerca do orçamento total e dos recursos financeiros e não descreveu também como será feito o acompanhamento das medidas.

Capítulo 3 - Estudo do setor residencial

Tendo por base o consumo de energia que foi identificado como uma das vertentes mais críticas nas estratégias locais, será realizada uma análise dos consumos de energia de edifícios de habitação, segundo um modelo sazonal e os parâmetros de referência indicados nos estudos dos níveis ótimos de rentabilidade das medidas de eficiência energética.

Desta análise comparativa, pretende-se identificar pontos de convergência entre as políticas municipais de mitigação e as incorporadas nos edifícios de habitação no domínio da eficiência energética.

3.1. Metodologia utilizada

Para o cálculo dos consumos de energia dos edifícios de habitação, utilizou-se o método quase-estacionário de base sazonal da norma EN ISO 13790:2008.

Adotou-se a nomenclatura e algumas simplificações e parâmetros especificados no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios (REH), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, já que este se encontra em concordância com a norma europeia de base sazonal. Assim sendo, foram feitas adaptações para que as moradias europeias se ajustem a este regulamento [35] [36].

Apenas será apresentada a metodologia utilizada para os cálculos das necessidades de energia nos casos de estudo no subcapítulo 3.2.

3.1.1. Necessidades Nominais de Energia Primária

As necessidades nominais de energia primária de um edifício, N_{tc} , obtêm-se através do somatório das seguintes parcelas:

- Necessidades de energia para aquecimento, N_{ic} ;
- Necessidades de energia para arrefecimento, N_{vc} ;
- Necessidades de energia para produção de AQS, $\left(\frac{Q_a}{A_p}\right)$ ou N_{ac} ;
- Ventilação mecânica, $\left(\frac{W_{vm}}{A_p}\right)$;
- Possíveis contribuições de fontes de energia renovável, $\left(\frac{E_{ren,p}}{A_p}\right)$.

Nesta análise não se consideram especificamente os consumos de energia de eletrodomésticos e de iluminação. As necessidades de energia primária são dadas através da expressão (3.1).

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \text{ ano})] \quad (3.1) \\
 & - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p}
 \end{aligned}$$

Sendo:

N_{ic} – Necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k , expressas em kWh/(m² ano), dadas pela expressão (3.2);

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k ;

N_{vc} – Necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k , expressas em kWh/(m² ano), dadas pela equação (3.24);

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k ;

Q_a – Energia necessária para a preparação das AQS supridas pelo sistema k , expressas em kWh/ano, dadas pela expressão (3.35);

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k ;

η_k – Eficiência do sistema k , igual a 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, exceto sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser utilizada a eficiência do sistema de queima;

j – Todas as fontes de energia, incluindo as de origem renovável;

p - Fontes de origem renovável;

$W_{vm,j}$ – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, expressa em kWh/ano, dada pelas expressões (3.37) ou (3.38);

$E_{ren,p}$ - Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p , incluindo apenas energia consumida, em kWh/ano, dada pela expressão (3.39);

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, expressa em m²;

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária, expresso em kWh_{EP}/kWh;

$F_{pu,p}$ - Fator de conversão de energia útil para energia primária, expresso em kWh_{EP}/kWh;

δ – Toma o valor de 1, com exceção no uso de arrefecimento (N_{vc}) que pode tomar o valor 0 quando o fator de ganhos térmicos for superior ao respetivo fator de referência, representando condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

3.1.2. Necessidades anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades de energia para aquecimento, N_{ic} , tratam-se da quantidade de energia que um edifício necessita para manter a sua temperatura interior constante durante a estação de aquecimento. Quanto maior for o valor de N_{ic} , menor será a temperatura interior a que o edifício se encontra.

A expressão para calcular o valor das necessidades anuais de energia útil para aquecimento é a seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})] \quad (3.2)$$

Em que:

$Q_{tr,i}$ – Perdas de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, em kWh, dadas pela expressão (3.3);

$Q_{ve,i}$ – Perdas de calor por ventilação na estação de aquecimento, em kWh, dadas pelas expressões (3.9) ou (3.11);

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, expressos em kWh, dados pela equação (3.14);

- **Perdas de calor por transmissão através da envolvente**

As perdas de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, $Q_{tr,i}$, ocorrem sempre que existe uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, calculadas do seguinte modo:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.3)$$

Onde:

GD – Número de graus-dias de aquecimento a uma temperatura base de um dado local, expresso em °C dia, dado pela expressão (3.41);

$H_{tr,i}$ – Coeficiente de transferência de calor por transmissão no inverno, em W/°C, dado pela equação (3.4).

O coeficiente de transferência de calor por transmissão, $H_{tr,i}$, é o somatório dos coeficientes de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, com espaços não úteis, com edifícios adjacentes e com o solo:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.4)$$

Onde:

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, em W/°C, dado pela equação (3.5);

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, em W/°C, dado pela equação (3.7);

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, em W/°C, dado pela equação (3.7);

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, em W/°C, dado pela expressão (3.8).

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente que estão em contacto com o exterior, H_{ext} , calcula-se através da seguinte forma:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \quad [\text{W/}^\circ\text{C}] \quad (3.5)$$

Em que:

U_i – Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, expresso em W/(m² °C);

A_i – Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, expressa em m²;

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica j , em W/(m °C);

B_j – Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, expresso em metros.

O coeficiente de transmissão térmica U de elementos formados por um ou mais materiais, em camadas de espessura constante, é dado através da expressão (3.6). Quanto menor for o valor deste coeficiente, melhor será a capacidade de isolamento do material.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_s} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})] \quad (3.6)$$

Onde:

R_{si} – Resistência térmica interior, em (m² °C)/W, cujos valores encontram-se na Tabela 3.1;

R_j – Resistência térmica da camada j , em (m² °C)/W;

R_s – Resistência térmica exterior que toma o valor de 0,04 (m² °C)/W.

Tabela 3.1 - Valores das resistências térmicas superficiais, R_{se} e R_{si} , em (m² °C)/W. Adaptado da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-K/2013.

| Sentido do fluxo | | R_{se} | R_{si} |
|-------------------|-------------|----------|----------|
| Horizontal | | 0,04 | 0,13 |
| Vertical | Ascendente | 0,04 | 0,10 |
| | Descendente | 0,04 | 0,17 |

Os coeficientes de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, H_{enu} , e em contacto com edifícios adjacentes, H_{adj} , calculam-se através da mesma expressão:

$$H_{enu;adj} = b_{tr} \times \left(\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \right) \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.7)$$

Onde:

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, cujos valores se encontram na Figura A.3 do Anexo A.

O valor do coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos que estão em contacto com o solo, H_{ecs} , calcula-se através da expressão seguinte:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf\ i} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bw\ j}] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.8)$$

Onde:

$U_{bf\ i}$ – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i , expresso em W/(m² °C);

A_i – Área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício, expresso em m²;

z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j , expresso em m;

P_j – Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior, em m;

$U_{bw\ j}$ – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j , expresso em W/(m² °C).

• Perdas de calor por ventilação

As perdas de calor por ventilação na estação de aquecimento, $Q_{ve,i}$, são determinadas através da seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.9)$$

Onde:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.10)$$

$H_{ve,i}$ – Coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, expresso em $\text{W}/^\circ\text{C}$, dado pela expressão (3.10);

$R_{ph,i}$ – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, em h^{-1} ;

P_d – Pé direito médio da fração, em metros.

No caso de se tratar de ventilação mecânica com recuperador de calor, a energia referente às perdas que ocorrem por ventilação é dada pela expressão seguinte:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times b_{ve,i} \times 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad [\text{kWh}] \quad (3.11)$$

Onde b_{ve} é o fator de correção da temperatura tendo em conta o recuperador de calor que vem dado pela equação (3.12).

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{V_{ins}}{R_{ph,i} \times A_p \times P_d} \quad [\text{ad}] \quad (3.12)$$

Em que:

η_{RC} – Rendimento do sistema de recuperação de calor;

V_{ins} – Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, em m^3/h .

- **Coefficiente global de transferência de calor**

O coeficiente global de transferência de calor num edifício H_t em ambas estações é a soma dos coeficientes de transferência de calor por transmissão pela envolvente, H_{tr} , e por ventilação devido à renovação do ar interior, H_{ve} , e calcula-se através da seguinte expressão:

$$H_t = H_{tr} + H_{ve} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.13)$$

- **Ganhos térmicos úteis**

Os ganhos térmicos úteis no inverno, $Q_{gu,i}$, resultam da conversão dos ganhos térmicos brutos, $Q_{g,i}$, pelo fator de utilização de ganhos, η_i , segundo a expressão seguinte:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.14)$$

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento, dado pelas expressões (3.20), (3.21) ou (3.22);

$Q_{g,i}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, em kWh, dado pela expressão (3.15).

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, $Q_{g,i}$, possuem duas origens: ganhos ligados a fontes internas de calor (equipamentos, iluminação e ocupantes) e ganhos solares transmitidos através dos vãos envidraçados.

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [\text{kWh}] \quad (3.15)$$

$Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor na estação de aquecimento, em kWh, dados pela expressão (3.16);

$Q_{sol,i}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento, em kWh, dados pela expressão (3.17).

Os ganhos térmicos internos, $Q_{int,i}$, incluem todas as fontes de calor situadas no espaço a aquecer (exceto o sistema de aquecimento), tais como os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação. Os ganhos térmicos internos durante toda a estação de aquecimento calculam-se através da expressão seguinte:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times q_{int} \times M \times A_p \quad [\text{kWh}] \quad (3.16)$$

Onde:

q_{int} – Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, com valor igual a 4 W/m^2 ;

M – Duração média da estação convencional de aquecimento, em meses;

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados, $Q_{sol,i}$, é feito através da equação seguinte:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j \left[X_j \times \sum_n F_{s,inj} \times A_{s,inj} \right] \times M \quad [\text{kWh}] \quad (3.17)$$

Em que:

G_{sul} – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento, por unidade de superfície, expresso em $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ mês})$;

X_j – Fator de orientação para as diferentes orientações da fachada do edifício cujos valores encontram-se na Tabela 3.2;

$F_{s,inj}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j , dado pela expressão (3.19);

$A_{s,inj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , expressa em m^2 , dada pela expressão (3.18);

j – Índice correspondente a cada uma das orientações;

n – Índice correspondente a cada uma das superfícies com a orientação j ;

Tabela 3.2 - Valores do fator de orientação X_j do vão envidraçado para cada orientação j . Adaptado da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-I/2013.

| Orientação do vão (j) | N | NE/NW | S | SE/SW | E/W | H |
|-----------------------|------|-------|---|-------|------|------|
| X_j | 0,27 | 0,33 | 1 | 0,84 | 0,56 | 0,89 |

A área efetiva coletora, $A_{s,i}$, deve ser calculada de vão em vão e é dada de acordo com a expressão seguinte:

$$A_{s,i} = A_w \times F_g \times g_i \quad [m^2] \quad (3.18)$$

Onde:

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o caixilho e o vidro, em m^2 ;

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado de acordo com três tipos de caixilharia cujos valores se encontram na Tabela 3.3;

g_i – Fator solar de inverno. Durante o inverno, considera-se que os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se totalmente abertos a fim de maximizar o aproveitamento da radiação solar. Neste caso, não existem dispositivos de sombreamento e o fator de inverno será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície, $g_{\perp,vi}$, corrigido pelo fator de seletividade angular $F_{w,i}$, isto é, $g_i = g_{\perp,vi} \times F_{w,i}$. O fator de seletividade angular, no inverno, toma o valor de 0,9. Os valores referentes ao fator solar $g_{\perp,vi}$ encontram-se na Figura A.1 do Anexo A.

Tabela 3.3 - Fração envidraçada F_g . Adaptado da Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013.

| Caixilharia | Sem quadrícula | Com quadrícula |
|---|----------------|----------------|
| Alumínio ou aço | 0,70 | 0,60 |
| Madeira ou PVC | 0,65 | 0,57 |
| Fachada-cortina de alumínio ou aço | 0,90 | - |

O fator de obstrução, F_s , calcula-se do seguinte modo:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad [ad] \quad (3.19)$$

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, incluindo palas e varandas;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, incluindo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

Os fatores de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento, η_i , e na estação de arrefecimento, η_v , variam entre 0 e 1 e calculam-se do seguinte modo:

Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$:

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad [\text{ad}] \quad (3.20)$$

Se $\gamma = 1$:

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad [\text{ad}] \quad (3.21)$$

Se $\gamma < 0$:

$$\eta = \frac{1}{\gamma} \quad [\text{ad}] \quad (3.22)$$

Onde o parâmetro γ é determinado por:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad [\text{ad}] \quad (3.23)$$

O parâmetro a pode assumir três valores, conforme a classe de inércia térmica da fração ou edifício:

Inércia fraca: $a = 1,8 \text{ W/}^\circ\text{C}$;

Inércia média: $a = 2,6 \text{ W/}^\circ\text{C}$;

Inércia forte: $a = 4,2 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Q_g – Ganhos térmicos brutos na estação em estudo, expressos em kWh, dados pelas equações (3.15) e (3.28) nas estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente;

Q_{tr} – Perdas de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, em kWh, dada pelas equações (3.3) e (3.25) nas estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente;

Q_{ve} – Perdas de calor por ventilação, em kWh, dada pelas expressões (3.9), (3.11) ou (3.27) na estação em estudo.

A classe de inércia pode ser obtida em função da capacitância térmica da zona térmica, C_m , e da área útil de pavimento, A_p , indicada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Classe e inércia em função do valor padrão da capacitância térmica C_m . Adaptado da Tabela 12 da Norma EN ISO 13790:2008, 2008).

| Classe | C_m (J/K) |
|--------------------|-----------------|
| Muito Leve | 80 000 x A_p |
| Leve | 110 000 x A_p |
| Média | 165 000 x A_p |
| Forte | 260 000 x A_p |
| Muito Forte | 370 000 x A_p |

3.1.3. Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} , são calculadas a partir da equação seguinte:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \times Q_{g,v}}{A_p} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ ano})] \quad (3.24)$$

Onde:

η_v – Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento, calculado através das expressões (3.20), (3.21) ou (3.22) e encontra-se em função da transferência de calor por transmissão, $Q_{tr,v}$, e por ventilação, $Q_{ve,v}$, e também pelos ganhos térmicos, $Q_{g,v}$ na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, expressos em kWh, dados pela expressão (3.28).

- **Perdas de calor por transmissão**

As perdas de calor por transmissão no verão, $Q_{tr,v}$, são dadas através da seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.25)$$

Em que:

$H_{tr,v}$ – Coeficiente transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, expresso em $\text{W}/^\circ\text{C}$, dado pela fórmula (3.26);

$\theta_{v,ref}$ – Temperatura de referência destinada para o cálculo das necessidades de verão, igual a 25°C ;

$\theta_{v,ext}$ – Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, em $^\circ\text{C}$;

L_v – Duração da estação de arrefecimento, expressa em horas.

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (3.26)$$

O significado dos parâmetros da equação (3.26) já foi efetuado na equação (3.4).

- **Perdas de calor por ventilação**

As perdas de calor por renovação do ar interior durante o verão, $Q_{ve,v}$, são dadas por:

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \times L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.27)$$

Em que:

$H_{ve,v}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, em $\text{W}/^\circ\text{C}$, e calcula-se através da expressão (3.10), mudando apenas os parâmetros de inverno para verão.

- **Ganhos térmicos úteis**

Os ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$, são obtidos pela soma de duas parcelas através da seguinte fórmula:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [\text{kWh}] \quad (3.28)$$

Sendo:

$Q_{int,v}$ – Ganhos térmicos relativos a fontes internas de calor, em kWh, dados pela expressão (3.29);

$Q_{sol,v}$ – Ganhos térmicos solares na envolvente exterior opaca e envidraçada, em kWh, dados pela fórmula (3.30).

Os ganhos térmicos referentes às fontes internas de calor, $Q_{int,v}$, são dados por:

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \times A_p \times L_v}{1000} \quad [\text{kWh}] \quad (3.29)$$

Os ganhos solares no verão na envolvente opaca e envidraçada, $Q_{sol,v}$, são determinados por:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{sol,j} \times \sum_n F_{s,vnj} \times A_{s,vnj} \right] \quad [\text{kWh}] \quad (3.30)$$

Sendo:

$I_{sol,j}$ – Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante a estação de arrefecimento, expressa em kWh/m²;

$A_{s,vnj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com orientação j , em m², dada pelas expressões (3.31) e (3.34);

j – Índice de cada uma das orientações por octante e à posição horizontal;

n – Índice de cada um dos elementos opacos e envidraçados com orientação j ;

$F_{s,vnj}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n e de orientação j , dado pela expressão (3.19), desprezando o efeito de sombreamento do horizonte F_h . O fator $F_{s,vnj}$ é opcional para as superfícies opacas e quando considerado toma o valor de 1 no verão.

A área efetiva coletora, $A_{s,vnj}$, de um vão envidraçado calcula-se através da seguinte expressão:

$$A_{s,vnj} = A_w \times F_g \times g_v \quad [\text{m}^2] \quad (3.31)$$

Em que:

A_w – Área total do vão envidraçado incluindo o vidro e caixilho, expressa em m²;

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida através da Tabela 3.3;

g_v – Fator solar do vão envidraçado no verão, dado pela equação (3.32).

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{TP} \quad [\text{ad}] \quad (3.32)$$

Em que:

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados cujos valores se encontram na Tabela 3.5. Caso não existam dispositivos de proteção solar móveis, F_{mv} é igual a 0;

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados, dado pela equação (3.33);

g_{TP} – Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes. Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos, $g_{TP} = F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$, onde $F_{w,v}$ é o fator de seletividade angular cujos valores encontram-se indicados na Tabela 3.6.

Tabela 3.5 - Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados, F_{mv} . Adaptado da Tabela 14 do Despacho n.º 15793-K/2013.

| Orientação do vão | F_{mv} |
|-------------------|----------|
| N | 0 |
| NE/NW | 0,4 |
| S | 0,6 |
| SE/SW | 0,7 |
| E/W | 0,6 |
| H | 0,9 |

Tabela 3.6 - Fator de correção da seletividade angular para vidros planos duplos dos envidraçados na estação de arrefecimento $F_{w,v}$. Adaptado da Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013.

| Orientação do vão | $F_{w,v}$ |
|-------------------|-----------|
| N | 0,80 |
| NE/NW | 0,85 |
| S | 0,75 |
| SE/SW | 0,85 |
| E/W | 0,85 |

O fator solar global g_T para vidros duplos calcula-se através da seguinte fórmula:

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad [\text{ad}] \quad (3.33)$$

Em que:

g_{Tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro de acordo com a Figura A.2 do Anexo A.

A área efetiva coletora de radiação solar de um elemento n da envolvente opaca exterior com orientação j é calculada através da equação (3.34).

$$A_{s,vnj} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \quad [\text{m}^2] \quad (3.34)$$

Onde:

α – Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, indicado na Tabela 3.7 em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento;

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca, em $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$;

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior, em m^2 ;

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior que toma o valor de $0,04 (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{W}$.

Tabela 3.7 - Coeficiente de absorção da radiação solar α . Adaptado da Tabela 08 do Despacho n.º 15793-K/2013.

| Cor | α |
|---|----------|
| Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro) | 0,4 |
| Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro) | 0,5 |
| Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro) | 0,8 |

3.1.4. Necessidades de energia útil para preparação de AQS

O valor da energia necessária para a preparação das águas quentes sanitária Q_a durante um ano é calculado através da seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (3.35)$$

Em que:

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência, em litros;

ΔT – Aumento de temperatura necessário à preparação das AQS, tomando o valor de referência de 35°C;

n_d – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais, igual a 365 dias.

O consumo médio diário, M_{AQS} , é dado por:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad [l] \quad (3.36)$$

Onde:

n – Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, dependendo da tipologia da fração, pelo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e $n+1$ ocupantes nas tipologias do tipo Tn com $n > 0$;

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica que é aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótula A ou superior, f_{eh} toma o valor de 0,90 e para os restantes casos é igual a 1.

3.1.5. Ventilação Mecânica

Quando um edifício dispõe de um sistema de ventilação mecânica com funcionamento contínuo, o consumo de energia elétrica para funcionamento dos ventiladores é dado através da seguinte expressão:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \times \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \times \frac{H_f}{1000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (3.37)$$

Em que:

V_f – Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador, expresso em m^3/h ;

ΔP – Diferença de pressão total do ventilador, expressa em Pa;

η_{tot} – Rendimento total do funcionamento do ventilador;

H_f – Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano, [h]. Por defeito, considera-se que os ventiladores funcionam durante 24 horas por dia, correspondendo a 8 760 horas, sendo que para sistemas híbridos pode ser adotado outro valor desde que seja fundamentado com uma estimativa anual do funcionamento da ventilação da fração.

Caso não se conheçam os valores referentes a ΔP e η_{tot} , o consumo de energia elétrica W_{vm} vem dado através da expressão seguinte:

$$W_{vm} = 0,3 \times V_f \times \frac{H_f}{1000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (3.38)$$

Quando o edifício não possui um sistema de ventilação mecânica, $W_{vm} = 0 \text{ kWh/ano}$.

3.1.6. Contribuições de sistemas de energia renovável

Uma vez que na aplicação de medidas de mitigação nos casos de estudo apenas foram considerados painéis solares térmicos, a contribuição destes sistemas para o cálculo das necessidades de energia primária é dada por:

$$E_{ren} = E_{solar\ ref} \times f_1 \times f_2 \times f_3 \quad [\text{kWh}] \quad (3.39)$$

Onde:

$$E_{solar\ ref} = 0,44 \times A_c \times G_h \quad [\text{kWh}] \quad (3.40)$$

Sendo:

$E_{solar\ ref}$ - Valor de referência da contribuição anual de sistemas de coletores solares para a preparação de AQS, [kWh];

f_1 - Fator de redução relativo ao posicionamento ótimo;

f_2 - Fator de redução relativo ao sombreamento;

f_3 - Fator de redução referente à idade do equipamento;

A_c - Área total de captação dos coletores, m²;

G_h - Total anual médio da radiação solar global recebida numa superfície horizontal, kWh/m².

3.2. Casos de estudo

Para o estudo do setor residencial, aplicou-se a metodologia anteriormente apresentada a três habitações unifamiliares europeias localizadas em Estocolmo, Lisboa e Londres. Trata-se de moradias novas, sendo que as de Estocolmo e Lisboa são isoladas e a de Londres geminada.

Uma vez que este estudo é centrado nas questões da qualidade térmica, não foi tida em conta a estação de arrefecimento para as moradias de Estocolmo e Londres dado isso não ser considerado nesses países, bem como não foi considerada a produção de águas quentes sanitárias na moradia de Lisboa, conforme a informação contida nos documentos analisados dos estudos dos custos ótimos (ECO) [37] [38] [39].

3.2.1. Geometria das habitações

Os dados referentes à geometria das três habitações encontram-se apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Dados relativos à geometria das habitações em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|---|-----------|--------|---------|
| Nº pisos | 1,5 | 2 | 2 |
| Pé direito médio (m) | 2,4 | 2,7 | 2,6 |
| Área útil de pavimento (m ²) | 154 | 165 | 76 |
| Área da cobertura (m ²) | 91 | 83 | 38 |
| Área da fachada (m ²) | 133 | 196 | 89 |
| Área envidraçada da fachada (m ²) | 19 | 49 | 13 |
| Área envidraçada da cobertura (m ²) | 8 | - | - |
| Área do pavimento (m ²) | 88 | 83 | 38 |
| Área envidraçada da fachada/Área total da fachada | 0,14 | 0,25 | 0,15 |
| Fator de forma | 0,63 | 0,81 | 0,78 |

(-): Não aplicável.

De salientar que a orientação das fachadas principais das habitações de Estocolmo e Lisboa é Sul-Norte e não existe informação quanto a orientação da habitação de Londres.

Uma vez que a moradia de Londres é geminada, esta possui uma parede em contacto com um edifício adjacente com 41 m² de área.

3.2.2. Parâmetros térmicos

• Coeficiente de transmissão térmica

A Tabela 3.9 apresenta os valores de referência relativos ao coeficiente de transmissão térmica U dos elementos da envolvente das três habitações.

Tabela 3.9 - Coeficientes de transmissão térmica U , expressos em W/(m² °C), referentes aos vários elementos das três habitações.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--------------------------|-----------|--------|---------|
| Paredes | 0,19 | 0,50 | 0,18 |
| Cobertura | 0,13 | 0,40 | 0,13 |
| Pavimento | 0,14 | 2,94 | 0,15 |
| Vãos envidraçados | 1,2 | 2,9 | 1,4 |

Para o cálculo de U do pavimento interior na moradia de Lisboa, considerou-se os seguintes valores das resistências térmicas [40]:

- R_{se} igual a 0,04 (m² °C)/W;
- R_{si} igual a 0,17 (m² °C)/W;
- R_j igual a 0,13 (m² °C)/W de blocos cerâmicos.

• Pontes térmicas lineares

A moradia de Estocolmo possui cerca de 20% de perdas térmicas lineares. Estas perdas encontram-se incluídas nos valores do coeficiente de transmissão térmica U das paredes, cobertura e pavimento, apresentados na Tabela 3.9.

Relativamente à habitação de Lisboa, esta possui um coeficiente médio de transmissão térmica linear ψ igual a 0,357 W/(m °C) e um comprimento total B igual a 304,4 m.

O documento relativo à habitação de Londres faculta um fator designado por y -value que estima as perdas de calor nas junções nos edifícios novos e toma o valor de 0,09 W/(m² °C), dado pela expressão seguinte [41]:

$$y = \frac{\sum(B \times \psi)}{A_{elem\ ext}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \text{ °C})] \quad (3.39)$$

Em que:

B – Comprimento da ponte térmica, em metros;

$A_{elem\ ext}$ – Área total dos elementos externos da moradia, expressa em m^2 .

Os elementos externos considerados foram as janelas, as paredes exteriores e a cobertura que possuem uma área total equivalente a $165,3\ m^2$.

Como não se sabe o valor de ψ nem o valor de B , o coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior associado às perdas térmicas lineares, $H_{ext\ PTL}$, pode ser calculado através da expressão seguinte [41]:

$$H_{ext\ PTL} = \psi \times \sum A_{elem\ ext} \quad [W/^{\circ}C] \quad (3.40)$$

E toma o valor de $14,88\ W/^{\circ}C$.

- **Coefficiente de redução de perdas de espaços não úteis**

Para as coberturas interiores das moradias de Lisboa e Londres e pavimento sobre espaços não úteis da habitação de Lisboa, considerou-se um coeficiente de redução de perdas para espaços fortemente ventilados, tomando o valor de:

$$b_{tr} = 1$$

Para a parede em contacto com edifício adjacente da habitação em Londres, obteve-se um coeficiente de redução de perdas equivalente a:

$$b_{tr} = 0,6$$

- **Inércia térmica**

A moradia de Estocolmo possui uma classe de inércia fraca, uma vez que possui uma constante de tempo equivalente a $\tau = 24$ horas.

A habitação de Lisboa possui uma capacitância térmica C_m igual a $260\ MJ/K$, traduzindo-se numa classe de inércia forte.

Para a moradia de Londres, considerou-se uma classe de inércia média.

- **Fator solar**

Os fatores solares de referência dos vidros aplicados nos vãos envidraçados exteriores das três moradias encontram-se indicados na Tabela 3.10. As três moradias possuem vidros duplos e considerou-se um fator solar equivalente a $0,75$ para a moradia de Londres, uma vez que o respetivo documento não fornece essa informação.

Tabela 3.10 - Fatores solares dos vidros $g_{L,vi}$ aplicados nos vãos envidraçados das habitações em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--|-----------|--------|---------|
| Fator solar $g_{L,vi}$ | 0,57 | 0,40 | 0,75 |

Na situação de verão, considerou-se um fator solar g_{Tvc} para vidros duplos para persianas de réguas metálicas ou plásticas para a habitação de Lisboa, tomando o valor de:

$$g_{Tvc} = 0,04$$

- **Fator de obstrução da radiação solar**

Face à ausência de informação contida nos documentos relativos às três habitações para o cálculo das três parcelas do fator de obstrução, fixou-se um valor de F_s para ambas as estações equivalente a:

$$F_s = 0,9$$

- **Fração envidraçada**

Para as três moradias em ambas as estações, considerou-se um valor da fração envidraçada igual a:

$$F_g = 0,7$$

- **Coefficiente de absorção da radiação solar**

Para a moradia de Lisboa na estação de arrefecimento, considerou-se um coeficiente de absorção da radiação solar para as paredes exteriores e cobertura equivalente a:

$$\alpha = 0,4$$

3.2.3. Sistemas adotados

- **Aquecimento**

A informação relativa aos sistemas de aquecimento adotados para as moradias em estudo durante a estação convencional de aquecimento encontra-se indicada na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Dados referentes aos sistemas adotados para aquecimento nas três habitações em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--|----------------|----------------------|-------------|
| Tipo de sistema | Bomba de calor | Resistência elétrica | Caldeira |
| Fonte de energia | Elettricidade | Elettricidade | Gás |
| Eficiência | 3,65 | 1 | 0,90 |
| Temperatura <i>set-point</i> (°C) | 22 | 18 | 21 |
| Horário de funcionamento diário | 01h00-24h00 | 01h00-24h00 | 01h00-24h00 |

O documento relativo à habitação de Londres refere que existe aquecimento entre as 07h00 e as 09h00 e as 18h00 e as 23h00 diariamente, baseando-se no regulamento do governo britânico para a classificação de energia de moradias que utiliza o método mensal [41]. Para efeitos de cálculo, considerou-se um horário de aquecimento nesta moradia de 24 horas por dia, durante a estação de aquecimento.

• Arrefecimento

A Tabela 3.12 apresenta a informação relativa ao sistema para arrefecimento adotado na moradia de Lisboa.

Tabela 3.12 - Dados relativos ao sistema para arrefecimento adotado na moradia de Lisboa.

| | |
|--|----------------|
| Tipo de sistema | Bomba de calor |
| Fonte de energia | Elettricidade |
| Eficiência | 2,8 |
| Temperatura <i>set-point</i> (°C) | 25 |
| Horário de funcionamento diário | 01h00-24h00 |

• Preparação de águas quentes sanitárias

Os dados relativos aos sistemas adotados para produção de águas quentes sanitárias nas habitações de Estocolmo e Londres encontram-se apresentados na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Dados referentes aos sistemas adotados para produção de AQS nas moradias de Estocolmo e Londres.

| | Estocolmo | Londres |
|-------------------------|----------------|----------|
| Tipo de sistema | Bomba de calor | Caldeira |
| Fonte de energia | Elettricidade | Gás |
| Eficiência | 3,65 | 0,90 |

Para efeitos de cálculo, considerou-se um aumento de temperatura ΔT igual a 45 °C para a moradia de Estocolmo.

• Ventilação

A Tabela 3.14 apresenta a informação referente aos sistemas de ventilação adotados nas três habitações em estudo. Assumiu-se uma taxa de renovação do ar interior no inverno de 0,6 e 0,4 h⁻¹ para as moradias de Estocolmo e Londres, respetivamente.

Tabela 3.14 - Dados relativos aos sistemas de ventilação adotados nas três habitações.

| | | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|---|---------|-----------|---------|---------|
| Tipo de ventilação | | Mecânica | Natural | Natural |
| Eficiência do RC | | 0,63 | - | - |
| Caudal insuflado (m ³ /h) | | 198,54 | - | - |
| Taxa de renovação do ar interior (h ⁻¹) | inverno | 0,6 | 0,6 | 0,4 |
| | verão | - | 0,8 | - |

(-): Não aplicável.

Uma vez que existe escassez de informação, assumiu-se que os ventiladores funcionam 24 horas por dia na moradia de Estocolmo, isto é, 8760 horas por ano.

• Fatores de conversão de energia primária

Os fatores de conversão de energia primária para eletricidade e gás utilizados são:

- Suécia: 1,9 kWh_{EP}/kWh para eletricidade [42];
- Portugal: 2,5 kWh_{EP}/kWh para eletricidade;
- Inglaterra: 1,22 kWh_{EP}/kWh para gás.

3.2.4. Dados climáticos

Para o cálculo das necessidades de energia, é necessário o conhecimento prévio de determinados parâmetros climáticos na estação de aquecimento e arrefecimento.

• Estação de aquecimento

Os parâmetros climáticos a ter em conta na estação de aquecimento são os graus-dias de aquecimento, GD , duração da estação de aquecimento, M , e energia solar média mensal recebida numa superfície vertical orientada a Sul, G_{sul} . Estes parâmetros encontram-se indicados na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Parâmetros climáticos pertinentes para a estação de aquecimento das três cidades em estudo [33] [43].

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--|-----------|--------|---------|
| M (meses) | 10 | 5,3 | 9 |
| GD (°C dia) | 5331 | 700 | 4360 |
| G_{sol} (kWh/(m² mês)) | 53 | 150 | 52 |

Os valores da duração da estação de aquecimento em Estocolmo e Londres foram calculados a partir das temperaturas médias do ar de cada mês, sempre que estas forem inferiores a 15°C.

Os graus-dias de aquecimento GD nas cidades de Estocolmo e Londres calcularam-se através da expressão seguinte [44]:

$$GD = \frac{\sum_{t=0}^{T_{periodo}} \max(0, \theta_b - \theta_{ext}(t))}{\sum_{t=0}^{T_{dia}} \Delta t} \quad [^{\circ}\text{C dia}] \quad (3.41)$$

Onde:

θ_b – Temperatura base igual a 22 e 21°C para Estocolmo e Londres, respetivamente;

θ_{ext} – Temperatura do ar exterior, expressa em °C;

Δt – Intervalo de tempo, equivalente a 24 horas.

• Estação de arrefecimento

Os parâmetros climáticos a ter em conta na estação de arrefecimento são a duração da estação L_v , temperatura média exterior $\theta_{ext,v}$, e a energia solar I_{sol} na horizontal e em superfícies verticais nos diferentes pontos cardeais e colaterais. A cidade de Lisboa possui uma duração da estação de arrefecimento equivalente a 2928 horas e uma temperatura média exterior de 21,5 °C.

A Tabela 3.16 apresenta os valores referentes a energia solar I_{sol} para Lisboa no verão.

Tabela 3.16 - Energia solar acumulada I_{sol} durante a estação de arrefecimento na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais na cidade de Lisboa.

| | I_{sol} (kWh/m²) |
|-------------------|--|
| Norte | 225 |
| Sul | 410 |
| Este | 500 |
| Oeste | 500 |
| Horizontal | 840 |

3.3. Análise de resultados

3.3.1. Coeficiente de transferência de calor

- Estação de aquecimento

Os coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação das três habitações, na situação de inverno, encontram-se apresentados na Tabela 3.17.

Tabela 3.17 - Coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação na estação de aquecimento das três moradias em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|-------------------|-----------|--------|---------|
| $H_{tr,i}$ (W/°C) | 84,58 | 599,95 | 58,63 |
| $H_{ve,i}$ (W/°C) | 32,87 | 90,88 | 26,56 |

A Figura 3.1 mostra os coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação por área útil de pavimento das três moradias.

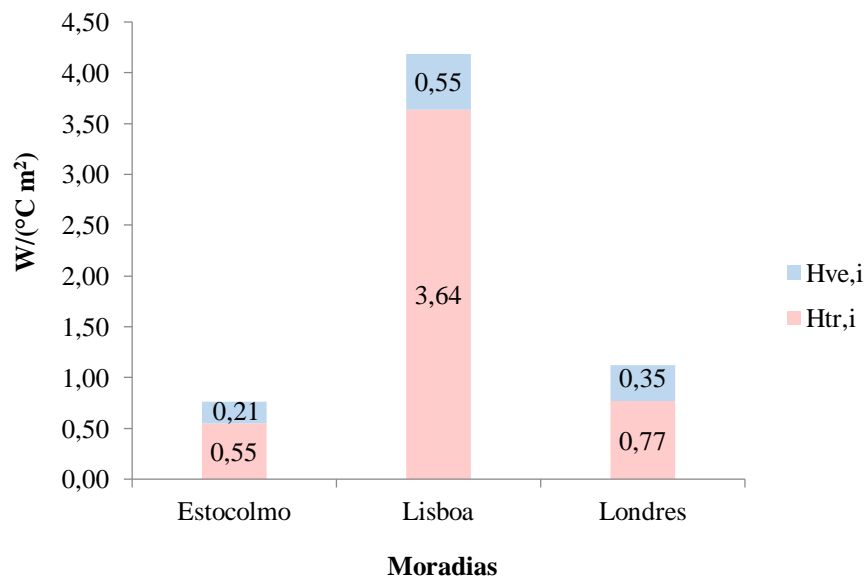


Figura 3.1 - Coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação por área útil de pavimento das três moradias na estação de aquecimento.

É possível verificar que a moradia de Lisboa apresenta maior coeficiente de transferência de calor por transmissão, pois possui coeficientes de transmissão de calor dos vários elementos da envolvente maiores que os das restantes moradias. A habitação de Estocolmo é aquela que apresenta menor valor de $H_{tr,i}$ visto que possui os menores coeficientes de transmissão térmica.

As habitações de Londres e Lisboa são providas de sistemas de ventilação natural, sendo a moradia portuguesa aquela com maior coeficiente de transferência de calor por ventilação, dado que possui um

valor superior referente à taxa de renovação de ar interior. Apesar da moradia de Estocolmo apresentar o mesmo valor de R_{ph} da de Lisboa, a habitação sueca é aquela com menor coeficiente $H_{ve,i}$ devido ao facto de dispor de um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor.

- **Estação de arrefecimento**

Relativamente à situação de verão, a moradia de Lisboa apresenta coeficientes de transferência de calor por transmissão e por ventilação iguais a 599,95 e 121,18 W/°C, respetivamente.

3.3.2. Área efetiva coletora

- **Estação de aquecimento**

A área efetiva coletora dos vãos envidraçados em contacto com espaços úteis das três habitações, no inverno, encontra-se apresentada na Tabela 3.18, evidenciando que no clima de Lisboa se privilegia a captação dos ganhos solares, enquanto nas cidades frias de Estocolmo e Londres se privilegia o isolamento e consequentemente janelas mais pequenas.

Tabela 3.18 - Área efetiva coletora das três moradias na estação de aquecimento.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|-----------------------------|-----------|--------|---------|
| $A_{s,i}$ (m ²) | 8,6 | 11,1 | 5,6 |

- **Estação de arrefecimento**

Para a habitação de Lisboa, obteve-se uma área efetiva coletora, no verão, equivalente a 7,5 m² a partir das áreas efetivas coletoras dos vãos envidraçados, das paredes exterior e da cobertura.

3.3.3. Ganhos térmicos

- **Estação de aquecimento**

Os ganhos solares e internos das habitações em estudo encontram-se apresentados na Figura 3.2.

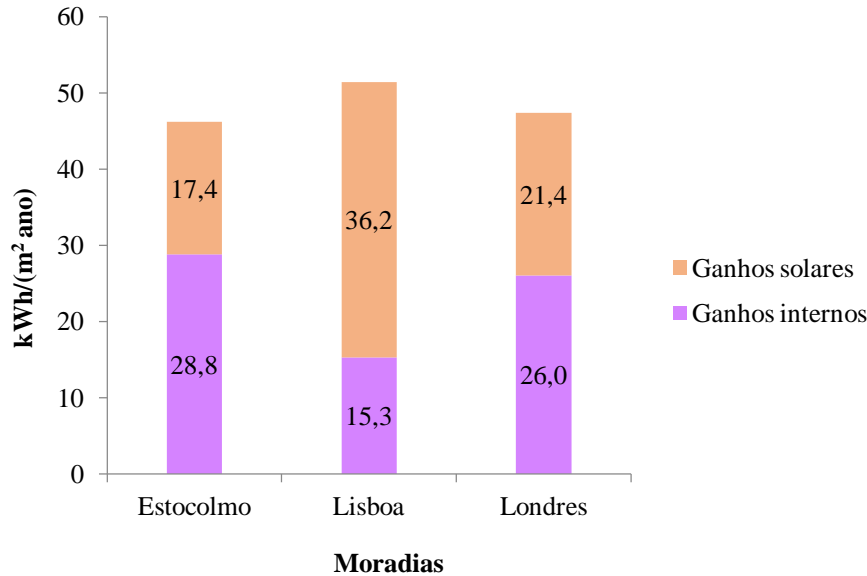


Figura 3.2 - Ganhos solares e internos por área útil de pavimento das três habitações no inverno.

A figura anterior mostra que a moradia de Lisboa apresenta a maior parcela de ganhos solares, visto que possui um valor elevado de radiação solar incidente e uma maior área efetiva coletora dos vãos envidraçados. Por outro lado, a habitação de Estocolmo possui menos ganhos solares que a de Londres, pois a sua área útil de pavimento é muito maior, havendo, assim, uma menor densidade de calor.

Os ganhos internos são maiores nas habitações de Estocolmo e Londres, já que possuem praticamente o dobro de meses de aquecimento de Lisboa.

- **Estação de arrefecimento**

No verão, a habitação de Lisboa possui ganhos solares e internos equivalentes a 17,8 e 11,7 kWh/(m².ano), respetivamente.

3.3.4. Perdas térmicas

- **Estação de aquecimento**

A Figura 3.3 mostra as perdas térmicas por ventilação e transmissão das habitações em estudo no inverno.

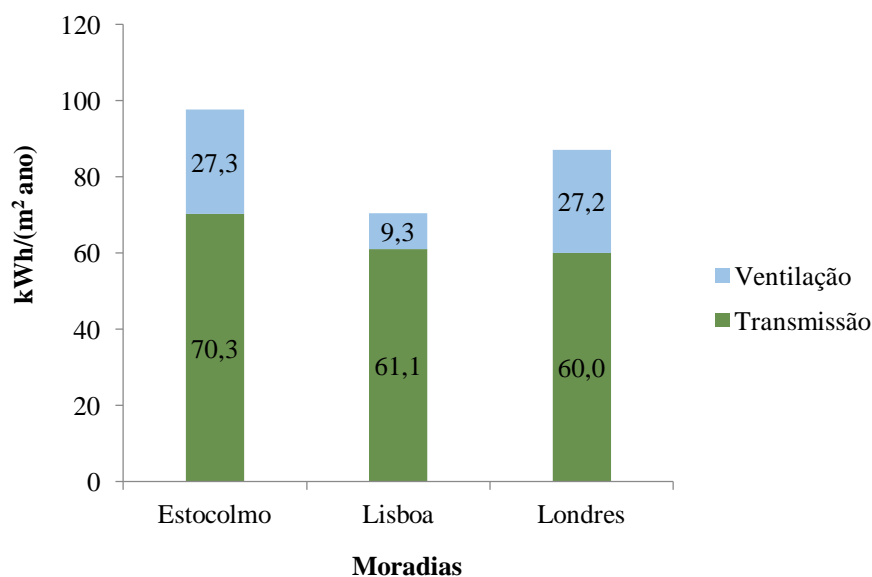


Figura 3.3 - Perdas térmicas por transmissão e ventilação por área útil de pavimento das três moradias no inverno.

Apesar do número de graus-dias de aquecimento de Lisboa ser muito menor ao das restantes localidades, o elevado coeficiente de transferência de calor por transmissão acaba por compensar os elevados números de graus-dias de aquecimento das moradias de Estocolmo e Londres, fazendo com que as perdas por transmissão na moradia de Lisboa se aproximem das perdas nas restantes habitações. É de esperar que a moradia de Estocolmo possua mais perdas por transmissão visto que o número de graus-dias de aquecimento é superior.

Em relação às perdas por ventilação, a habitação de Lisboa apresenta menos perdas já que o número de graus-dias de aquecimento é mais baixo que o das restantes moradias. Apesar do sistema de ventilação da moradia de Estocolmo ser mais eficiente que o de Londres, as perdas térmicas nestas duas habitações são idênticas, uma vez que existe uma compensação entre os valores elevados referentes ao número de graus-dias na moradia sueca e ao coeficiente de transferência de calor por ventilação na moradia inglesa.

- **Estação de arrefecimento**

No verão, as perdas térmicas por transmissão e por ventilação por área útil de pavimento, na moradia de Lisboa, são 37,3 e 7,5 kWh/(m² ano), respetivamente.

3.3.5. Balanço térmico

- **Estação de aquecimento**

A Figura 3.4 apresenta a totalidade dos ganhos e das perdas térmicas que ocorrem nas três moradias durante o inverno.

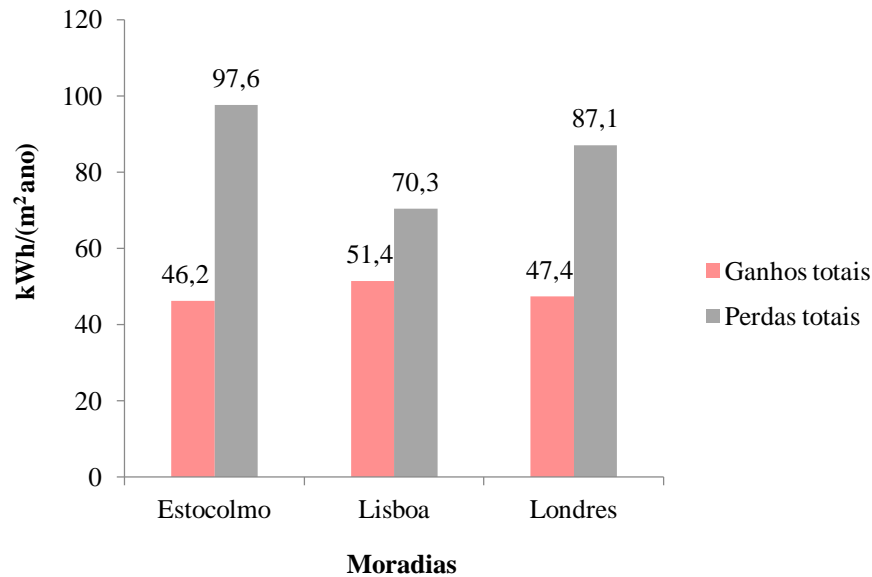


Figura 3.4 - Ganhos e perdas térmicas totais por área útil de pavimento das três habitações no inverno.

Constata-se que a parcela de perdas térmicas é sempre superior à de ganhos térmicos nas três habitações. Apesar da moradia de Lisboa possuir um coeficiente de transferência de calor $H_{tr,i}$ muito maior ao das restantes moradias, esta apresenta menos perdas térmicas, dado que as moradias de Estocolmo e Londres possuem números de graus-dias de aquecimento muito mais elevados. Por outro lado, os ganhos térmicos assemelham-se nas três moradias devido à compensação dos valores elevados da duração da estação de aquecimento das habitações de Estocolmo e Londres e da radiação solar incidente e da área efetiva coletora na moradia de Lisboa.

- **Estação de arrefecimento**

A Figura 3.5 apresenta os ganhos e perdas térmicas totais no inverno na moradia de Lisboa, bem como o resumo dos ganhos e perdas térmicas totais no verão.

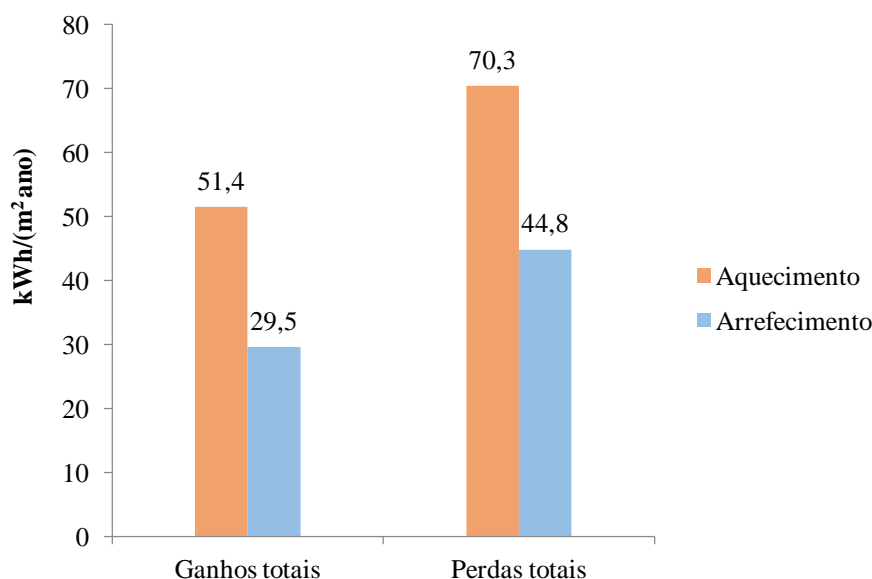


Figura 3.5 - Ganhos e perdas térmicas por área útil de pavimento na moradia de Lisboa no inverno e verão.

Para o verão, verifica-se que as perdas térmicas são maiores que os ganhos térmicos, sendo tal situação vantajosa para a moradia de Lisboa uma vez que irá necessitar de menos arrefecimento. Porém, no inverno, os ganhos térmicos são menores que as perdas, tal como se verificou anteriormente.

3.3.6. Necessidades de energia obtidas

Os resultados obtidos das necessidades de energia para as três habitações dos estudos dos custos ótimos encontram-se apresentandos na Figura 3.6.

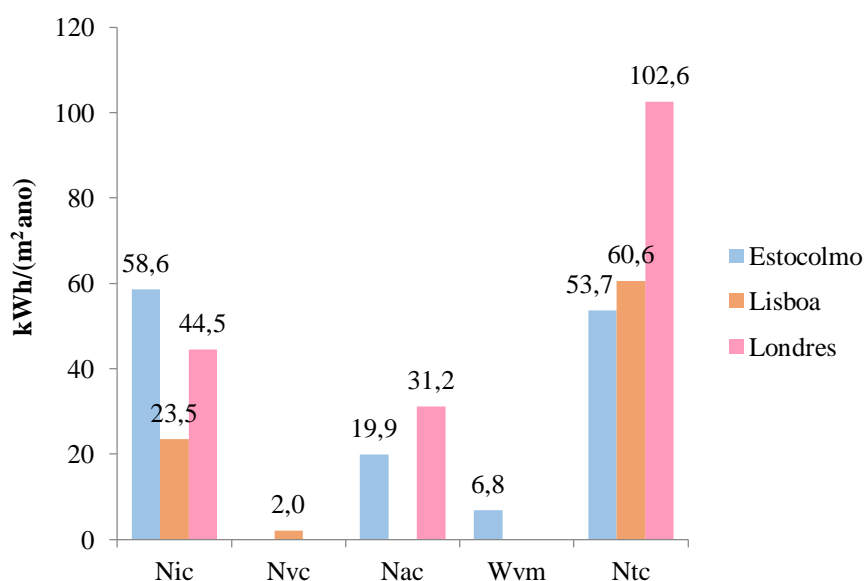


Figura 3.6 – Resultados obtidos das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento, produção de AQS, energia elétrica para os ventiladores e necessidades de energia primária das três moradias.

Na estação de aquecimento, é expectável que a moradia de Estocolmo seja aquela com maiores necessidades de energia útil para aquecimento, uma vez que é aquela com um clima mais severo. Por outro lado, a moradia de Lisboa possui menos necessidades de energia para aquecimento, refletindo o clima ameno que se faz sentir.

No verão, a moradia de Lisboa apresenta necessidades de energia para arrefecimento quase inexistentes, já que possui mais perdas que ganhos térmicos e uma classe de inércia forte.

A habitação de Londres possui um valor maior de N_{ac} visto que possui menor valor de área útil de pavimento face à moradia de Estocolmo.

Na moradia de Estocolmo, a energia elétrica obtida para o funcionamento dos ventiladores é cerca de 6,8 kWh/(m² ano) a um caudal médio de ar escoado de $2 \times \dot{V}_{ins}$.

O valor de N_{tc} é maior na moradia de Londres, uma vez que esta adotou um sistema menos eficiente em relação às restantes moradias (caldeira a gás com rendimento de 0,90). Por outro lado, a moradia de Estocolmo adotou um sistema mais eficiente: bomba de calor com 3,65 de rendimento, traduzindo menos necessidades de energia primária.

3.3.7. Valores obtidos e valores de referência

Os valores de referência referentes às necessidades de energia das três habitações encontram-se indicados na Tabela 3.19, conforme os respetivos documentos dos estudos dos custos ótimos.

Tabela 3.19 - Valores de referência das necessidades de energia das três habitações em estudo.

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|---------------|-----------|--------|---------|
| $N_{ic\ REF}$ | - | - | 49 |
| $N_{ac\ REF}$ | 20 | - | 30 |
| $N_{vc\ REF}$ | - | - | - |
| $W_{vm\ REF}$ | 4 | - | - |
| $N_{tc\ REF}$ | 55 | 39-90 | 117 |

(-): Não aplicável ou não fornecido

• Moradia de Estocolmo

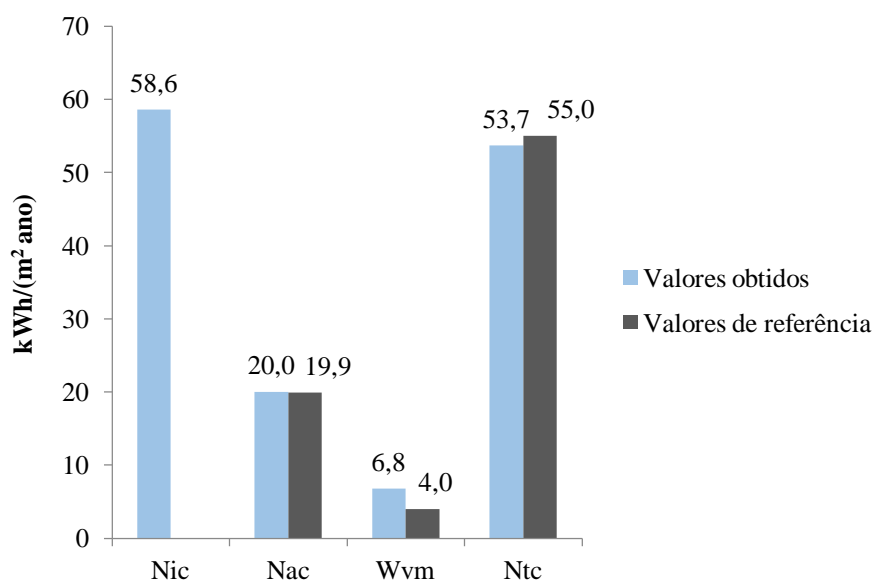


Figura 3.7 - Valores obtidos e de referência das necessidades de energia da moradia de Estocolmo.

Segundo a Figura 3.7, verifica-se que os valores obtidos e de referência de N_{ac} são idênticos, visto que se considerou um aumento de temperatura equivalente a 45 °C.

Uma vez que se considerou um funcionamento dos ventiladores de 24 horas por dia todo o ano na moradia de Estocolmo, tal facto poderá explicar o desfasamento entre o valor obtido e o de referência de W_{vm} .

O facto do valor obtido de W_{vm} ser maior que o de referência, faz com que as necessidades de energia primária obtidas se aproximem das de referência. Contudo, na realidade o valor obtido de N_{tc} é ainda mais inferior ao de referência, podendo dever-se aos fatores de conversão de energia primária adotados.

• Moradia de Lisboa

O documento relativo à moradia portuguesa refere que as necessidades de energia primária devem ser entre 39 e 90 kWh/(m²·ano). Assim sendo, o valor obtido de N_{tc} desta habitação encontra-se dentro do intervalo pretendido.

- **Moradia de Londres**

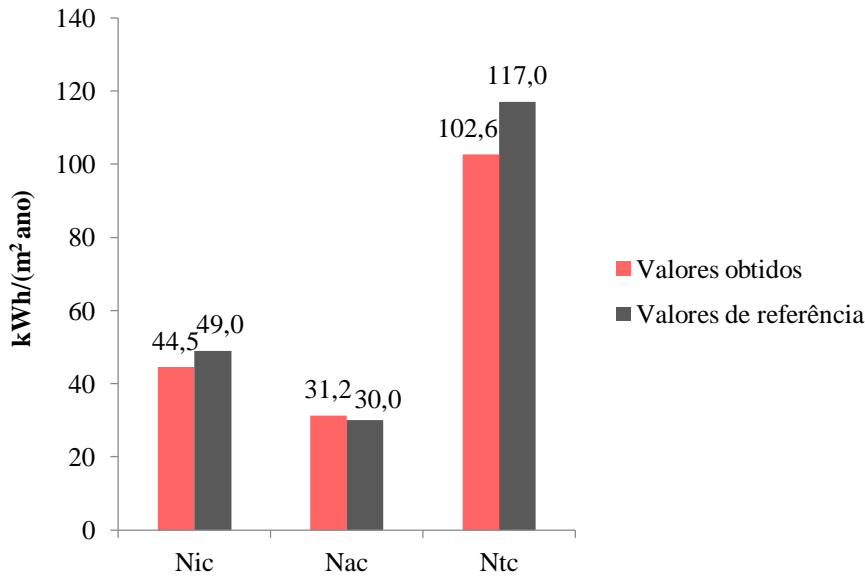


Figura 3.8 - Valores obtidos e de referência das necessidades de energia da moradia de Londres.

O documento de Londres utiliza o método mensal para o cálculo dos consumos de energia e indica os intervalos de tempo para aquecimento, anteriormente mencionados. Ao adotar-se esses intervalos de tempo no método sazonal para o cálculo de N_{ic} desta habitação, obteve-se um valor do número de graus-dias que faria com que o valor obtido de N_{ic} fosse bastante superior ao de referência. Assim sendo, calculou-se o valor de GD para um intervalo de 24 horas durante a estação de aquecimento e obteve-se um N_{ic} equivalente a 44,5 kWh/(m² ano), encontrando-se relativamente próximo do de referência, tal como é possível verificar na Figura 3.8. A adoção de métodos diferentes de cálculo poderá explicar também o desfasamento entre o valor obtido e de referência das necessidades de energia primária. Porém, o valor obtido e de referência de N_{ac} são semelhantes.

3.4. Aplicação das medidas previstas dos planos de mitigação

Nesta parte do trabalho, aplicaram-se as medidas técnicas previstas dos planos de mitigação apresentadas no subcapítulo 2.2.5 nas três habitações em estudo. Deste modo, na moradia de Estocolmo aplicou-se um painel solar térmico e isolamentos na envolvente, na moradia de Lisboa aplicou-se apenas um painel solar térmico e na moradia de Londres introduziu-se um painel solar térmico, isolamentos na envolvente e uma unidade de ventilação mecânica com recuperador de calor, tal como preconizado nos respetivos planos.

A informação relativa à contribuição de painéis solares térmicos encontra-se indicada na seguinte tabela:

Tabela 3.20 – Dados relativos à contribuição de painéis solares térmicos nas três habitações em estudo. Fonte: [43].

| | Estocolmo | Lisboa | Londres |
|--|-----------|--------|---------|
| G_h (kWh/(m² ano)) | 739 | 1725 | 759 |
| A_c (m²) | 5,6 | 5,6 | 2,8 |

Os valores assumidos das áreas dos coletores encontram-se na Tabela 3.20.

Os fatores de redução adotados para as três moradias tomam o valor de:

$$f_1 = f_2 = f_3 = 1$$

É de salientar que na moradia de Lisboa incorporou-se uma caldeira a gás com 90% de rendimento para produção de AQS no estudo dos custos ótimos a fim de se pode aplicar um painel solar térmico tal como previsto no respetivo plano e assim comparar as necessidades de energia primária.

Relativamente aos isolamentos, uma vez que nos planos não existe informação concreta desta medida, reduziu-se cerca de 20% os coeficientes de transmissão térmica da envolvente das moradias de Estocolmo e Londres.

Na moradia de Londres, introduziu-se uma unidade de ventilação mecânica com recuperador de calor com um caudal médio diário insuflado de 100 m³/h, com um rendimento do sistema de recuperação de calor de 63% e uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento de 0,6 h⁻¹.

O fator de conversão de energia primária adotado para as energias renováveis nas moradias de Estocolmo e Londres toma o valor de 1 kWh_{EP}/kWh [45].

A Figura 3.9 apresenta as necessidades de energia primária obtidas através da aplicação das medidas técnicas nos planos de mitigação face às obtidas nos estudos dos custos ótimos.

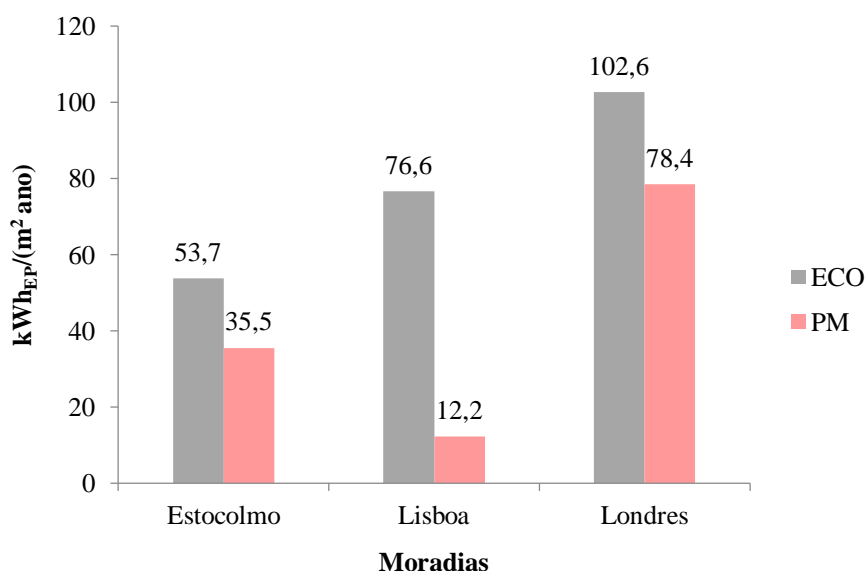


Figura 3.9 – Redução das necessidades de energia primária obtidas com a aplicação das medidas técnicas previstas nos planos de mitigação.

Através da figura anterior, verifica-se uma redução aproximadamente de 34% das necessidades de energia primária na habitação de Estocolmo. A moradia de Lisboa sofreu uma diminuição substancial

nas necessidades de energia visto que apresenta uma radiação solar incidente elevada e o fator de conversão de energia primária adotado é igualmente elevado. Em relação à moradia de Londres, constata-se uma redução de cerca 31% nas necessidades de energia primária.

3.5. Aplicação de parâmetros climáticos diferentes

Como parte da análise efetuada anteriormente, aplicaram-se variáveis climáticas diferentes em cada moradia em estudo com o intuito de verificar como cada uma se comporta em climas mais e menos hostis. Deste modo, analisaram-se três casos distintos apresentados na Figura 3.9.

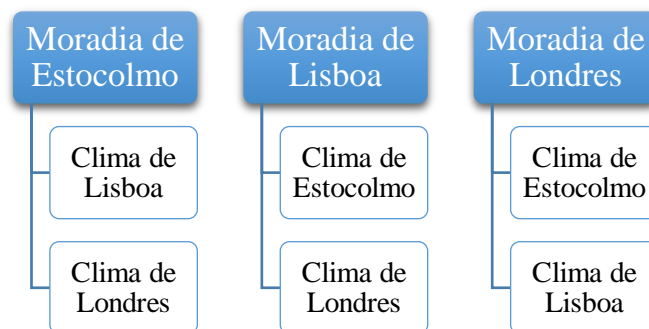


Figura 3.10 - Casos de estudo na aplicação de variáveis climáticas diferentes.

Uma vez que nas moradias de Estocolmo e Londres não foi tida em conta a estação de arrefecimento, será apenas analisada a situação no inverno.

3.5.1. Moradia de Estocolmo

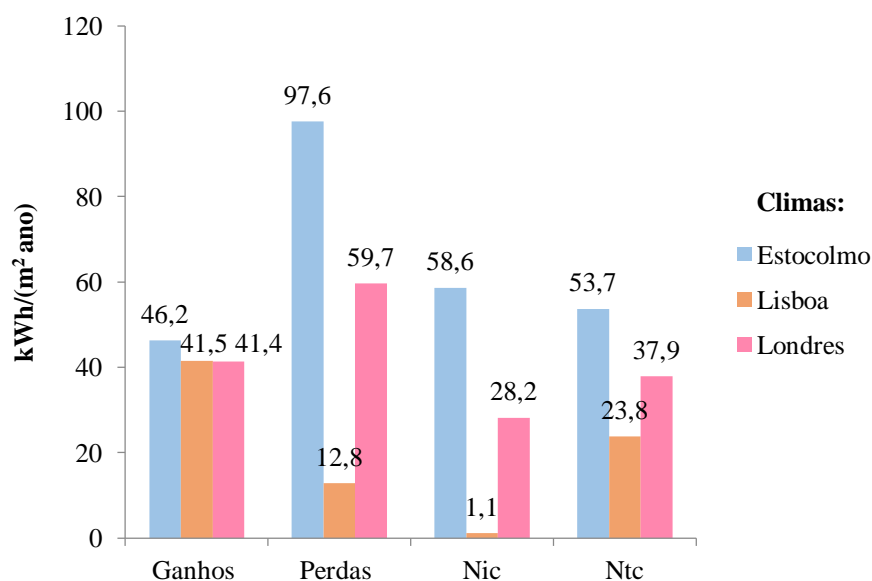


Figura 3.11 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Estocolmo com a aplicação dos climas de Lisboa e Londres.

Segundo a Figura 3.11, verifica-se que as necessidades de energia para aquecimento e de energia primária na moradia sueca diminuíram com a introdução das variáveis climáticas de Lisboa e Londres, uma vez que a severidade destes climas é menor. A aplicação do clima de Lisboa resulta em necessidades de aquecimento quase nulas, visto que as perdas são muito menores que as de Estocolmo, refletindo um número de graus-dias de aquecimento baixo.

Deste modo, a moradia sueca adapta-se ao clima de Lisboa e Londres, tal como era de se esperar, já que esta moradia encontra-se preparada para suportar climas severos e como os climas aplicados não são tão rigorosos, será necessário menos consumo de energia;

3.5.2. Moradia de Lisboa

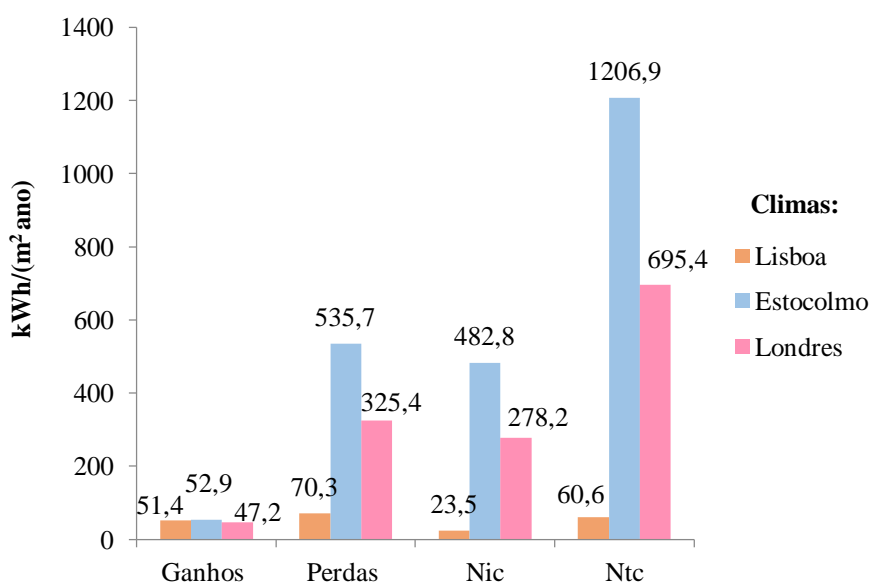


Figura 3.12 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Lisboa com a aplicação dos climas de Estocolmo e Londres.

A Figura 3.12 mostra que, com a aplicação dos climas de Estocolmo e Londres, a moradia portuguesa sofre um aumento substancial nas necessidades de aquecimento e de energia primária, tal como era esperado. Isto deve-se ao facto de esta moradia não estar preparada para suportar os climas severos de Estocolmo e Londres, onde os números de graus-dias de aquecimento sofrem um aumento brusco, traduzindo-se em perdas térmicas muito superiores. Verifica-se também que os ganhos térmicos com os três climas são semelhantes, já que existe uma compensação entre o valor da radiação solar incidente a partir do clima de Lisboa e os valores referentes à duração da estação de aquecimento dos climas de Estocolmo e Londres.

Assim sendo, a habitação lisboeta não está apta para suportar os climas severos de Estocolmo e Londres, sendo necessário um maior consumo de energia.

3.5.3. Moradia de Londres

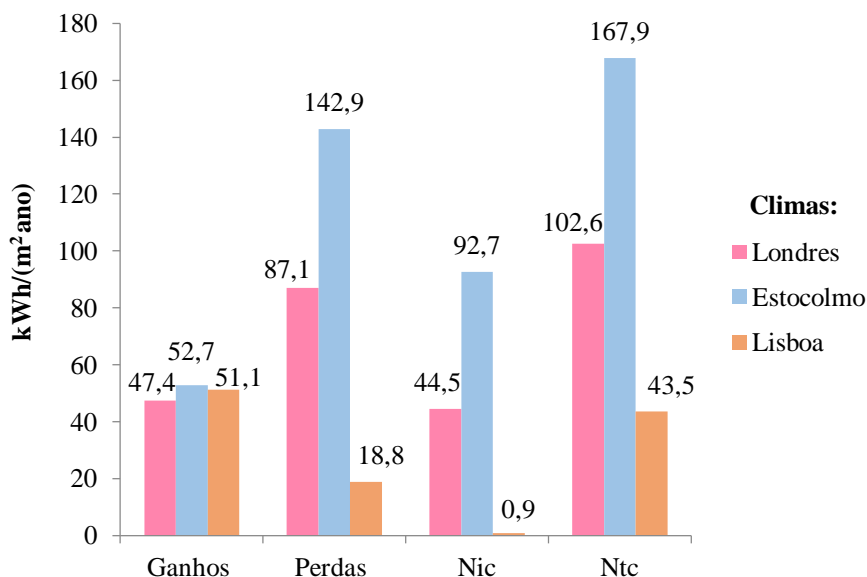


Figura 3.13 - Resultados dos ganhos e perdas térmicas, bem como das necessidades de energia para aquecimento e energia primária na moradia de Londres a partir dos climas de Estocolmo e Lisboa.

Através a da Figura 3.13, quando se aplica o clima de Estocolmo na moradia de Londres, as necessidades de energia para aquecimento e de energia primária sofrem um aumento, uma vez que os parâmetros climáticos de Estocolmo são superiores aos de Londres. Ao aplicar-se o clima de Lisboa na moradia inglesa, constata-se que as necessidades de energia diminuem substancialmente, nomeadamente as necessidades para aquecimento que são praticamente nulas. Isto deve-se ao facto do clima de Lisboa ser ligeiro face ao clima de Londres que é mais severo com quase o dobro da duração da estação de aquecimento e uma radiação solar incidente menor.

Posto isto, a habitação de Londres adapta-se ao clima de Lisboa, visto que se trata de um clima mais ameno, mas não se encontra apta para suportar o clima de Estocolmo, já que este é mais severo.

3.5.4. Análise comparativa

Na Figura 3.14 apresentam-se as necessidades de energia primária das diferentes moradias nos diferentes climas.

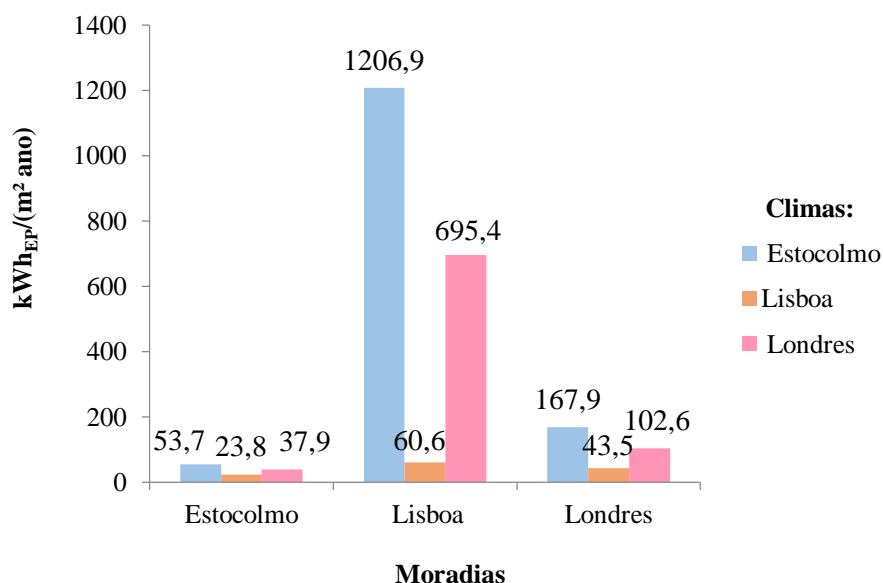


Figura 3.14 – Valores referentes ao N_{tc} com a aplicação dos três climas nas moradias em estudo com a moradia de Lisboa sem AQS.

Dessa figura, conclui-se que a moradia de Estocolmo é a que se adapta mais ao clima dessa cidade, apresentando também necessidades energéticas mais baixas nos restantes climas. Contudo, regista-se que a moradia de Lisboa no clima de Lisboa possui necessidades de energia primária aproximadamente equivalentes às da moradia de Estocolmo para o clima de Estocolmo. Por outro lado, a moradia de Londres no clima de Londres apresenta necessidades de energia que são sensivelmente o dobro das anteriores, evidenciando um desvio relevante face às outras duas cidades podendo configurar uma oportunidade de melhoria.

Salienta-se o facto de a moradia de Lisboa na Figura 3.14 não possuir AQS, conforme o documento do estudo dos custos ótimos. Assim sendo, a figura seguinte apresenta as necessidades de energia primária das três moradias com diferentes climas com a diferença de a habitação em Lisboa possuir AQS com uma caldeira a gás com 90% de rendimento.

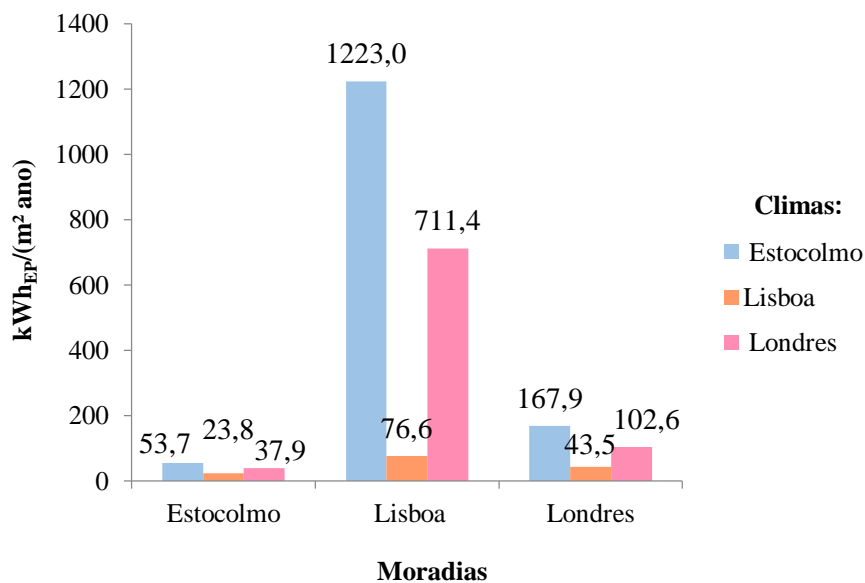


Figura 3.15 - Valores referentes ao N_{te} com a aplicação dos três climas nas moradias em estudo com a moradia de Lisboa com AQS.

Deste modo, através da Figura 3.15, constata-se apenas um ligeiro aumento nas necessidades de energia primária na moradia de Lisboa com os três climas, tal como era de se esperar.

Capítulo 4 - Conclusão

Após a análise dos três planos de mitigação, verifica-se que existem ainda aspetos a melhorar nomeadamente na elaboração do inventário que é uma parte crucial de um plano de mitigação e na definição de medidas, pois normalmente não é apresentada informação suficiente conforme a estrutura recomendada do Pacto de Autarcas, como a apresentação dos consumos finais de energia, informação sobre a produção local de eletricidade calor e frio e medidas mais detalhadas.

Deste modo, foram retiradas as seguintes conclusões:

- O plano de Lisboa é aquele que se encontra menos de acordo com a estrutura recomendada pelo Pacto de Autarcas uma vez que se trata de um plano onde é necessário incluir informação adicional, pois carece de muita informação no seu inventário e não efetuou a descrição das medidas. Trata-se também do plano menos ambicioso, já que possui uma meta e um orçamento menos arrojados e ainda um baixo número de medidas previstas relativamente aos restantes planos, dentro da informação disponível;
- Apesar do número de falhas não diferir muito das do plano de Estocolmo, o plano de Londres é aquele que se encontra mais em conformidade com o plano de referência do Pacto de Autarcas pelo facto de este ter fornecido informação sobre a implementação e seguimento das medidas, contrariamente ao plano de Estocolmo. O plano de Estocolmo não apresentou o seu orçamento total e ainda que este plano possua uma meta ambiciosa, considera-se que o plano de Londres é o plano mais ambicioso pois apresenta uma meta e orçamentos bastante arrojados, tira partido de todos os seus recursos renováveis e apresenta um vasto conjunto de medidas para os setores dos edifícios e transportes, destacando-se o desenvolvimento de veículos a hidrogénio e o aproveitamento da energia solar e eólica.

Em relação ao estudo do setor residencial, concluiu-se que os planos de mitigação locais são mais ambiciosos do que as respetivas moradias de referência dos estudos dos custos ótimos, uma vez que estas habitações nem sempre incorporam as medidas técnicas previstas pelos respetivos planos. Destaca-se a moradia de Estocolmo por incorporar mais medidas técnicas previstas pelo respetivo plano, dispondo de um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor e de uma bomba de calor para aquecimento, sendo também a moradia mais eficiente ao contrário da moradia de Londres que é a menos eficiente.

Constatou-se ainda que a aplicação das medidas de mitigação nas habitações originou reduções consideráveis nas necessidades de energia primária, sendo a moradia de Lisboa aquela que sofreu uma maior redução, com a instalação de apenas de um painel solar térmico, graças à elevada radiação solar existente nessa cidade e ao fator de conversão de energia primária adotado.

O clima possui um papel crucial nos consumos de energia de um edifício e, como tal, é necessário adaptá-lo com medidas de eficiência energética, destacando a sua orientação, isolamentos, materiais de construção utilizados e os sistemas de energia adotados, nomeadamente tecnologias renováveis. A habitação de Estocolmo é a que se adapta melhor em climas diferentes e a de Lisboa é aquela que se encontra menos preparada para suportar climas mais rigorosos, apresentando aumentos consideráveis das necessidades de energia primária ao introduzir os climas de Estocolmo e Londres com quase o dobro da estação de aquecimento e números de graus-dias de aquecimento muito maiores.

É possível ainda tecer algumas conclusões gerais, destacando-se as seguintes:

- A elaboração de planos de mitigação é fundamental pois estes têm em conta as características locais dos respetivos municípios, sendo a definição das medidas mais eficiente. Como tal, as medidas de mitigação locais são mais ambiciosas que as políticas nacionais;
- O plano de Lisboa poderá ser evoluído com base na experiência de outras cidades e em estudos mais detalhados, sobretudo na previsão de medidas mais ambiciosas, como por exemplo no aproveitamento de energia eólica sob a forma de pequenas turbinas.

Em suma, torna-se possível sintetizar algumas medidas para reduzir as necessidades de aquecimento no inverno:

- Incrementar os ganhos solares, tendo em conta a orientação dos edifícios e área efetiva coletora dos vãos envidraçados;
- Limitar as perdas térmicas, com bons isolamentos e unidades de ventilação eficientes;
- Classes de inércia forte, com paredes pesadas e isolamentos através do exterior.

Por outro lado, para limitar as necessidades para arrefecimento no verão, salientam-se as seguintes estratégias:

- Limitar os ganhos térmicos, com a aplicação de boas telas solares nos vãos envidraçados e com bons isolamentos;
- Sistemas de ventilação eficientes.

Referências

- [1] J. G. Carter, G. Cavan, A. Connelly, S. Guy, J. Handley e A. Kazmierczak, *Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation*, Elsevier Ltd, 2014.
- [2] I. P. o. C. C. -. IPCC, “IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/mains1.html.
- [3] F. Santos, K. Forbes e R. Moita, “Alterações Climáticas em Portugal - Cenários, Impactes e Medidas de Adaptação SIAM,” Gradiva, 2015.
- [4] C. Europeia, “Ação Climática,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/clima/change/causes/index_pt.htm.
- [5] NASA. [Online]. Available: <http://climate.nasa.gov/causes/>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [6] E. E. Agency, “Atmospheric concentration of Carbon Dioxide (ppm),” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/atmospheric-concentration-of-co2-ppm-1>.
- [7] I. E. Agency, “Global energy-related emissions of carbon dioxide stalled in 2014,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <https://www.iea.org/newsroomandevents/news/2015/march/global-energy-related-emissions-of-carbon-dioxide-stalled-in-2014.html>.
- [8] C. A. e U. , “About SIF,” 2015. [Online]. Available: <http://www.cop21paris.org/about/cop21/>. [Acedido em 30 Outubro 2016].
- [9] G. C. Project, “Emissions,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.globalcarbonatlas.org/?q=en/emissions>.
- [10] W. J. Fisk, “Review of some effects of climate change on indoor environmental,” 2015.
- [11] J. Laukkonen, P. K. Blanco, J. Lenhart, M. Keiner, B. Cavric e C. K. Njenga, “Combining climate change adaptation and mitigation measures,” Elsevier, 2015.
- [12] NASA, “Images of Change,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://climate.nasa.gov/images-of-change?id=365#365-mccarty-glacier-melt-alaska>.
- [13] F. Santos e P. Miranda, “Alterações Climáticas em Portugal - Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projeto SIAM II,” Gradiva, 2015.
- [14] C. Europeia, “Ação Climática,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/clima/change/consequences/index_pt.htm.
- [15] E. M. Hamin e N. Gurran, “Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation,” 2015.
- [16] P. Moriarty e D. Honnery, “Future Cities In a Warming World,” 2015.
- [17] ND-GAIN, “Map,” 27 Setembro 2016. [Online]. Available: <http://index.gain.org/>.
- [18] A. E. d. Ambiente, “Alterações climáticas,” 2015 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/intro>.
- [19] APREN, “Metas,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/energias->

renovaveis/metas/.

- [20] P. N. d. A. p. a. E. Energética, “Metas PNAEE 2016 - RCM n.º 20/2013,” 2016. [Online]. Available: <http://www.pnaee.pt/pnaee#metaspnaee>. [Acedido em 14 Fevereiro 2016].
- [21] APA, “Mitigação,” [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117>.
- [22] APA, “Adaptação em Portugal,” 25 Fevereiro 2015. [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=395>.
- [23] P. d. Autarcas, “Pacto de Autarcas para o Clima e Energia,” 26 Outubro 2016. [Online]. Available: http://www.pactodeautarcas.eu/about/covenant-of-mayors_pt.html.
- [24] C. Europeia, “How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) - GUIDEBOOK - Part I, II and III,” 2015.
- [25] E. a. H. Administration, Stockholm action plan for climate and energy 2012–2015 with an outlook to 2030, Estocolmo.
- [26] L. E.-N. —. A. M. D. E. —. A. D. LISBOA, Plano de Acção para a Sustentabilidade Energética de Lisboa, Lisboa.
- [27] M. o. London, Delivering London’s energy future - The Mayor’s draft Climate Change Mitigation and Energy Strategy for consultation with the London Assembly and functional bodies, Londres, 2010.
- [28] “World Population Review,” [Online]. Available: <http://worldpopulationreview.com/countries/>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [29] “Renew 2016,” [Online]. Available: http://www.centec.tecnico.ulisboa.pt/renew2016/travel_info.aspx. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [30] [Online]. Available: <http://portalnacional.com.pt/lisboa/lisboa/>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [31] [Online]. Available: <https://www.britannica.com/place/Greater-London>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [32] [Online]. Available: http://statistik.stockholm.se/attachments/article/21/facts%20and%20figures%202013_webb.pdf. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [33] “Energy Plus,” [Online]. Available: https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [34] “Google Earth,” [Online]. Available: <https://www.google.com/earth/>. [Acedido em 4 Outubro 2016].
- [35] ITeCons, Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Coimbra, 2013.
- [36] B. Standards, Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling (ISO 13790:2008), 2008.
- [37] “Buildings,” [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Acedido em 26 Agosto 2016].

- [38] M. O. Panão, S. Camelo e H. Gonçalves, “Buildings,” 12 Julho 2013. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Acedido em 26 Agosto 2016].
- [39] D. f. C. a. L. Government, “Buildings,” Maio 2013. [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>. [Acedido em 26 Outubro 2016].
- [40] C. Santos e L. Matias, Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, Lisboa, 2006.
- [41] B. R. E. (BRE), The Government’s Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings, Garston, 2012.
- [42] S. G. B. Council, Treatment of Scandinavian District Energy Systems in LEED, Estocolmo, 2014.
- [43] “PVGis,” [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.
- [44] J. M. d. S. Jacinto, Metodologias de cálculo das necessidades de aquecimento na ISO 13790, 2014.
- [45] ECOFYS, “Primary energy factors for electricity in buildings,” ECI, Utrecht, 2011.

Anexo A - Parâmetros térmicos

Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão $g_{L,vi}$

| Composição do vidro | | $g_{L,vi}$ |
|---------------------|--------------------------------------|------------|
| Vidro Simples | Incolor 4mm | 0,88 |
| | Incolor 5mm | 0,87 |
| | Incolor 6mm | 0,85 |
| | Incolor 8mm | 0,82 |
| | Colorido na massa 4mm | 0,70 |
| | Colorido na massa 5mm | 0,65 |
| | Colorido na massa 6mm | 0,60 |
| | Colorido na massa 8mm | 0,50 |
| | Refletante Incolor 4 a 8mm | 0,60 |
| | Refletante colorido na massa 4 a 5mm | 0,50 |
| | Refletante colorido na massa 6 a 8mm | 0,45 |
| | Fosco | (1) |

| Composição do vidro | | $g_{L,vi}$ |
|-------------------------|---|------------|
| Vidro Duplo (ext + int) | Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm | 0,78 |
| | Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm | 0,75 |
| | Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,60 |
| | Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,55 |
| | Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,50 |
| | Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm | 0,45 |
| | Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,52 |
| | Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,40 |
| | Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm | 0,35 |
| | Tijolo de Vidro | 0,57 |
| | Fosco | (1) |

(1) Nas situações de vidro fosco, podem ser utilizados valores de fator solar correspondes às soluções de vidro incolor de igual composição.

Figura A.1 - Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013).

Fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar g_{Tvc}

| Tipo de Proteção | | g_{Tvc} | | | | | |
|----------------------|--|---------------|-------|--------|---------------|-------|--------|
| | | Vidro Simples | | | Vidros Duplos | | |
| | | Clara | Média | Escura | Clara | Média | Escura |
| Proteções exteriores | Portada de madeira | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,03 | 0,05 | 0,06 |
| | Persiana de réguas de madeira | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| | Persiana de réguas metálicas ou plásticas | 0,07 | 0,10 | 0,13 | 0,04 | 0,07 | 0,09 |
| | Estore veneziano de lâminas de madeira | - | 0,11 | - | - | 0,08 | - |
| | Estore veneziano de lâminas metálicas | - | 0,14 | - | - | 0,09 | - |
| | Lona opaca | 0,07 | 0,09 | 0,12 | 0,04 | 0,06 | 0,08 |
| | Lona pouco transparente | 0,14 | 0,17 | 0,19 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |
| | Lona muito transparente | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,16 | 0,18 | 0,2 |
| Proteções interiores | Estores de lâminas | 0,45 | 0,56 | 0,65 | 0,47 | 0,59 | 0,69 |
| | Cortinas opacas | 0,33 | 0,44 | 0,54 | 0,37 | 0,46 | 0,55 |
| | Cortinas ligeiramente transparentes | 0,36 | 0,46 | 0,56 | 0,38 | 0,47 | 0,56 |
| | Cortinas transparentes | 0,38 | 0,48 | 0,58 | 0,39 | 0,48 | 0,58 |
| | Cortinas muito transparentes | 0,70 | - | - | 0,63 | - | - |
| | Portadas opacas | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,35 | 0,46 | 0,58 |
| | Persianas | 0,35 | 0,45 | 0,57 | 0,40 | 0,55 | 0,65 |
| | Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas | - | - | - | 0,28 | 0,34 | 0,40 |

Figura A.2 – Valores relativos ao fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar g_{Tvc} (Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013).

Coefficiente de redução de perdas de espaços não úteis b_{tr}

| b_{tr} | $V_{enu} \leq 50m^3$ | | $50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$ | | $V_{enu} > 200m^3$ | |
|--------------------------|----------------------|-----|-------------------------------|-----|--------------------|-----|
| | f | F | f | F | f | F |
| $A_i / A_u < 0,5$ | 1,0 | | 1,0 | | 1,0 | |
| $0,5 \leq A_i / A_u < 1$ | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |
| $1 \leq A_i / A_u < 2$ | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 1,0 |
| $2 \leq A_i / A_u < 4$ | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,9 | 0,6 | 0,9 |
| $A_i / A_u \geq 4$ | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,4 | 0,8 |

Nota: Para espaços fortemente ventilados b_{tr} , deverá tomar o valor de 1,0.

Figura A.3 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis b_{tr} (Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013).

